



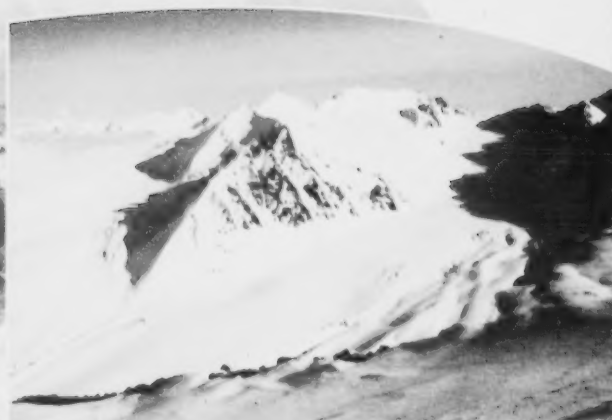
Environnement
Canada

Environment
Canada



QUESTIONS FRÉQUEMMENT POSÉES AU SUJET DE LA SCIENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

MISE À JOUR 2008



Canada



QUESTIONS FRÉQUEMMENT POSÉES AU SUJET DE LA SCIENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Mise à jour 2008

**Section de l'évaluation et de l'intégration scientifiques
Direction générale des sciences et de la technologie
Environnement Canada**

REMERCIEMENTS

La « Mise à jour 2008 - Questions fréquemment posées au sujet de la science du changement climatique » a été rédigée par Henry Hengeveld (associé émérite) en vertu d'un contrat, en collaboration avec Elizabeth Bush, Patti Edwards et Jacinthe Lacroix, tous de la Section de l'évaluation et de l'intégration scientifiques, Direction générale des sciences et de la technologie, d'Environnement Canada. Angus Fergusson a également apportés des commentaires précieux. Des remerciements particuliers sont adressés à Rebecca Williams pour son soutien technique.

Ce rapport est disponible sous forme électronique à l'adresse :

D780ACC-1

<http://www.ec.gc.ca/scitech/default.asp?lang=En&n=2A953C90-1>

On peut aussi se procurer des copies papier supplémentaires gratuites en faisant la demande écrite à :

Section de l'évaluation et de l'intégration scientifiques

Direction générale des sciences et de la technologie

Environnement Canada

4905, rue Dufferin

Toronto (Ontario)

M3H 5T4

416-739-4645

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement

© **Ministère des Travaux publics et Services gouvernementaux**

Canada 2008

No En56-219/2008F au catalogue

ISBN # 978-0-662-07401-4

This document is also available in English.

Imprimé sur du papier recycle.

Référence photographique pour la page couverture: NASA globe_west_2048: <http://eol.jsc.nasa.gov>

Photos intercalaires: Environnement Canada

AVANT-PROPOS

Les canadiens posent souvent des questions qui nous montrent qu'une confusion considérable existe au niveau du public, en ce qui concerne plusieurs aspects de la science du changement climatique. Une partie de cette confusion est simplement liée au fait que le système climatique est extrêmement complexe. Comprendre comment le climat de la Terre change avec le temps, en réponse à différents facteurs, requiert une compréhension de l'ensemble du système terrestre : l'atmosphère, les océans, le sol, toutes les choses vivantes dans ces parties ainsi que les interactions entre tous ces éléments. Une partie de la confusion peut aussi résulter du fait que plusieurs sources différentes d'information sur la science du changement climatique sont disponibles, et que toutes ne disent pas la même histoire. C'est un défi considérable pour toute personne qui ne lit pas la principale littérature scientifique sur une base régulière, de savoir ce qui constitue une « science solide » de ce qui ne l'est pas.

Ce document a été publié pour la première fois en 2002, pour fournir des réponses fiables et crédibles aux questions et arguments les plus souvent entendus au sujet de la science du changement climatique. Les réponses s'appuient sur des principes de physiques fondamentaux reconnus, sur les rapports d'évaluation scientifique internationaux très acclamés du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), ainsi que sur de récents articles scientifiques révisés par les pairs. Dans la publication initiale, les réponses fournies étaient compatibles avec le Troisième rapport d'évaluation du GIEC, publié en 2001. La présente mise à jour inclut des résultats provenant de plusieurs nouvelles publications et rapports publiés depuis ce temps, en particulier la récente parution du Quatrième rapport d'évaluation du GIEC, publié en 2007. Des références spécifiques sont fournies pour les schémas et pour les réponses où des valeurs spécifiques sont présentées.

Ce document s'adresse en premier à ceux qui ont déjà une certaine connaissance de la question du changement climatique et, en particulier, à ceux qui sont eux-mêmes impliqués dans l'éducation des autres au sujet de la science du changement climatique. Cependant, en fournissant à la fois une réponse simple ainsi qu'une explication plus détaillée, nous espérons que ce document sera intéressant pour un grand nombre de lecteurs.

TABLE DES MATIÈRES

A.	Vue d'ensemble générale : Qu'est-ce que le changement climatique?	p 4
A.1	Qu'est-ce que le climat et en quoi diffère-t-il du temps?	
A.2	Qu'est-ce que le changement climatique?	
A.3	Quelle est la différence entre le changement climatique et le réchauffement planétaire?	
A.4	Qu'est-ce que « l'effet de serre » et comment influence-t-il le système climatique?	
A.5	Quels sont les principaux gaz responsables de l'effet de serre naturel et quels sont leurs rôles relatifs?	
A.6	Qu'est-ce qui cause le changement climatique?	
A.7	Y a-t-il des éléments attestant que des variations passées des concentrations des gaz à effet de serre aient été liées au changement climatique?	
A.8	Les données de carottes de glace montrent que, pendant les cycles glaciaires et interglaciaires, les variations des concentrations de CO ₂ se produisaient après celles des températures polaires. N'est-ce pas une indication que le changement climatique provoque les variations des concentrations de CO ₂ plutôt que le contraire?	
B.	Influences humaines sur l'atmosphère	p 11
B.1	Quelle a été l'augmentation des concentrations des principaux gaz à effet de serre naturels dans l'atmosphère depuis quelques années?	
B.2	Comment les concentrations des autres gaz à effet de serre ont-elles changé depuis quelques années?	
B.3	Comment les scientifiques savent-ils que l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère est attribuable aux activités humaines?	
B.4	Quelles activités humaines contribuent le plus à la présence de gaz à effet de serre dans l'atmosphère?	
B.5	Étant donné que les gaz à effet de serre ne constituent qu'une infime partie de l'atmosphère, comment un changement de leurs concentrations peut-il avoir des effets significatifs sur le climat planétaire?	
B.6	Étant donné que la majeure partie du CO ₂ ajoutée à l'atmosphère chaque année provient de sources naturelles, comment nos interventions peuvent-elles changer de façon significative la concentration de ce gaz dans l'atmosphère?	
B.7	Les volcans ne dégagent-ils pas naturellement beaucoup plus de CO ₂ dans l'atmosphère chaque année que les humains?	
B.8	N'est-il pas vrai que la vapeur d'eau domine l'effet de serre naturel, rendant ainsi insignifiants les changements survenus dans les concentrations des autres gaz à effet de serre?	
B.9	N'est-il pas vrai que les émissions anthropiques d'aérosols refroidissent le climat et, par conséquent, compensent les émissions de gaz à effet de serre ?	
B.10	J'ai entendu dire que l'assombrissement global peut avoir compensé l'effet de réchauffement dû au taux croissant de concentrations des gaz à effet de serre. Est-ce vrai?	
B.11	Comment l'appauvrissement d'ozone stratosphérique et le changement climatique peuvent-ils influencer l'un sur l'autre?	
B.12	Quelles autres activités humaines influencent le climat?	
B.13	Quel est l'effet net, sur notre climat, de l'ensemble des activités humaines réalisées par le passé?	
C.	Détection et attribution du changement climatique	p 22
C.1	Le monde s'est-il réchauffé?	
C.2	Comment les relevés de température planétaire moyenne sont-ils élaborés?	
C.3	Est-ce que les relevés de température sont fiables?	
C.4	Dans quelle mesure le réchauffement connu récemment a-t-il été inhabituel?	
C.5	Comment les scientifiques examinent-ils la question des causes du réchauffement?	
C.6	Est-ce que les variations du rayonnement cosmique provenant de l'espace pourraient avoir occasionné le réchauffement?	
C.7	Les variations dans l'irradiation solaire ont-elles pu provoquer le réchauffement du siècle dernier?	
C.8	Quel est le rôle des volcans dans le réchauffement survenu récemment?	
C.9	Pourquoi les scientifiques pointent-ils les gaz à effet de serre et les aérosols anthropiques comme étant à l'origine du réchauffement récent?	
C.10	Une forte augmentation de la température s'est produite vers le début de notre siècle, lorsque les émissions de CO ₂ et d'autres gaz à effet de serre étaient encore relativement faibles. Cependant, les températures ont baissé au cours des années 1950 et 1960, alors que ces émissions ont commencé à augmenter rapidement. Ce fait ne contredit-il pas la conception selon laquelle une augmentation des émissions de CO ₂ causerait des climats plus chauds?	
C.11	Est-ce que la variabilité naturelle de climat qui survient sur des échelles de temps de plusieurs décennies, ont-elles contribué à la tendance de réchauffement récente?	

- C.12 Malgré le réchauffement planétaire général au cours du 20^e siècle, certaines personnes allèguent que les températures moyennes actuelles sont encore inférieures à celles qui ont prévalu pendant les périodes chaudes survenues par le passé, comme la période de réchauffement médiéval. Cela ne suggère-t-il pas que les hausses actuelles sont vraisemblablement attribuables à des causes naturelles et donc qu'elles ne seraient pas vraiment préoccupantes?

D. Prév́sion du climat p 35

- D.1 Comment prévoi-t-on le changement climatique?
- D.2 Quelle incidence auront les facteurs de forçage naturel du climat sur le système climatique au cours du siècle à venir?
- D.3 Quelles sont les projections du forçage du climat provoqué par des variations dans les concentrations des gaz à effet de serre et des aérosols troposphériques au cours du siècle à venir?
- D.4 À quel point la terre est-elle susceptible de se réchauffer au cours des 100 prochaines années?
- D.5 Pourquoi y a-t-il un écart supérieur à 5 °C dans les projections du réchauffement planétaire?
- D.6 Quels processus climatiques et quelles rétroactions contribuent le plus aux différences retrouvées dans les simulations par modèle, de la sensibilité du climat face au forçage climatique.
- D.7 Pourquoi devrions-nous croire aux températures issues des modèles climatiques lorsque leurs diverses projections à l'égard d'un futur climat sont si différentes?
- D.8 À quel point sont fiables les modèles employés pour prévoir les changements futurs fournissent-ils des renseignements fiables sur d'autres indicateurs climatiques, tels que les précipitations?
- D.9 Il arrive souvent que les modèles servant aux prévisions météorologiques soient incapables de prévoir correctement le temps qu'il fera dans quelques jours. Comment peut-on s'attendre à ce que les modèles climatiques fassent des prévisions crédibles pour les décennies à venir ou le siècle prochain?
- D.10 Quelles sont les projections pour ce qui est de l'élévation du niveau de la mer et à quel point sont elles fiables?
- D.11 Est-il probable que des changements catastrophiques abrupts surviennent dans le climat?
- D.12 Avons-nous sous-estimé le changement climatique futur?

E. Impacts du changement climatique p 45

- E.1 Les températures de la planète se sont élevées de moins de 0,8 °C au cours des 100 dernières années. Cette variation est de beaucoup inférieure aux variations interannuelles. Pourquoi faudrait-il alors s'en préoccuper?
- E.2 Quelles pourraient être les conséquences d'un réchauffement de quelques degrés?
- E.3 Quelles seraient les répercussions de l'élévation planétaire des niveaux de la mer sur les personnes?
- E.4 La fréquence et l'intensité des catastrophes provoquées par des conditions météorologiques extrêmes semblent être à la hausse. Cela est-il lié au changement climatique?
- E.5 Pourquoi le réchauffement planétaire donnerait-il lieu à des événements météorologiques plus fréquents et plus extrêmes?
- E.6 Le réchauffement planétaire sera-t-il graduel ou rapide?
- E.7 Un climat plus chaud ne serait-il pas favorable aux Canadiens et aux Canadiennes?
- E.8 Quelles sont les raisons principales pour lesquelles les canadiens devraient se préoccuper du changement climatique?
- E.9 J'ai entendu dire que, d'ici 50 ans, l'élévation des températures permettrait à Halifax d'avoir un climat comme celui de Boston actuellement, à Toronto comme celui du Kentucky et à Vancouver comme celui de San Francisco. Faut-il s'en plaindre?
- E.10 Selon les rapports, certains des plus importants changements dus au réchauffement planétaire se produiront dans des pays nordiques, comme le Canada. Est-ce que cela signifie que nous serons plus touchés que les pays situés à proximité de l'équateur?

F. Crédibilité scientifique et réaction de l'homme p 52

- F.1 On dirait qu'il y a toujours des histoires contradictoires sur le changement climatique dans les médias. N'y a-t-il pas d'accord au sujet du changement climatique entre les scientifiques?
- F.2 Il semble y avoir des milliers de scientifiques qui soutiennent que nos connaissances sur le changement climatique sont si limitées qu'il est prématuré d'intervenir. Qui sont ces dissidents et sont-ils crédibles?
- F.3 Si notre connaissance du changement climatique comporte autant d'incertitudes, ne devrions-nous pas attendre pour réduire les émissions de CO₂ jusqu'au moment où nous pourrions mieux prévoir ce qui va se passer?
- F.4 Est-il trop tard pour arrêter le changement climatique?
- F.5 N'est-il pas plus important de s'attaquer d'abord à la pollution, puisqu'elle comporte des risques pour notre santé qui sont plus immédiats?
- F.6 Comment est-il possible qu'un gaz tel que le dioxyde de carbone, lequel joue naturellement un rôle crucial dans les processus des écosystèmes, soit classifié comme un polluant toxique?

Références p 56

A. Vue d'ensemble générale : Qu'est-ce que le changement climatique?

A.1 Qu'est-ce que le climat et en quoi diffère-t-il du temps?

Réponse : Le climat décrit le temps moyen quotidien, pour un emplacement ou une région précise au cours d'une période prolongée. À plusieurs égards, le climat est ce à quoi on peut s'attendre, tandis que le temps est ce que nous recevons. Par exemple, à Edmonton, on peut s'attendre à avoir une température maximale de -8°C pour une journée normale au cours du mois de janvier. Toutefois, en janvier 2007, les températures maximales quotidiennes réelles ont varié de $-20,3^{\circ}\text{C}$, le 13 janvier, à $+4,3^{\circ}\text{C}$, le 18 janvier.

Explication : Le temps qu'il fait dans une région ou en un lieu précis peut changer avec les heures, les jours, les saisons et les années. Des variations peuvent se produire dans la température, les précipitations (neige et pluie), les vents et les nuages. Elles sont causées par la complexe interaction de divers facteurs, y compris de rapides changements dans la configuration des vents globaux, des variations plus lentes dans les conditions océaniques, ou des fluctuations saisonnières de l'ensoleillement. Nous évaluons le climat d'une localité ou d'une région en établissant la moyenne des conditions atmosphériques sur une longue période, habituellement d'au moins 30 ans. Cela nous permet de caractériser le temps auquel nous pouvons nous attendre dans cette région ou ce lieu précis. Ces statistiques climatiques servent également de point de référence pour évaluer la probabilité que le temps diffère de façon considérable de ces valeurs moyennes, y compris le risque associé aux conditions météorologiques extrêmes.

A.2 Qu'est-ce que le changement climatique?

Réponse : Le changement climatique est un changement ou une modification à long terme du climat d'un lieu précis, d'une région ou de la planète entière. Cette modification est mesurée par des changements qui se produisent dans certaines ou la totalité des caractéristiques associées au temps moyen, comme la température, la configuration des vents et les précipitations. Une telle modification peut impliquer à la fois des changements autant dans les conditions atmosphériques moyennes que dans l'évolution de la météo par rapport à ces moyennes. Le « changement climatique » se distingue de la « variabilité climatique » par la persistance de ce changement avec le temps, de telle sorte que l'on puisse mesurer une différence entre deux périodes de temps.

Explication : À l'échelle planétaire, un changement climatique se produit en réponse à un changement de la quantité d'énergie qui entre ou sort du système climatique de la planète. Cela survient lorsqu'un facteur modifie soit la quantité totale d'énergie solaire absorbée par l'atmosphère et la surface terrestres, soit la quantité d'énergie thermique émise par la surface et l'atmosphère terrestres vers l'espace (voir la figure A.4). Le système climatique réagit à ce déséquilibre entre l'intrant et la sortie d'énergie, en se réchauffant ou se refroidissant jusqu'à ce que l'équilibre de l'énergie radiative soit rétabli. Comme les facteurs qui causent le changement initial dans le bilan énergétique poussent ou « forcent » le climat à changer, ces facteurs sont appelés « forçages du climat ». On va généralement parler de « facteurs de réchauffement » quand les forçages sont positifs, et de « facteurs de refroidissement » quand les forçages sont négatifs. Les forçages climatiques peuvent être des phénomènes naturels ou résulter d'activités humaines.

Les facteurs qui ont une incidence sur un changement climatique régional sont beaucoup plus complexes. En effet, en plus d'être affectés par un changement climatique planétaire, les climats régionaux sont aussi affectés par une multitude d'autres facteurs qui se produisent à des échelles de

temps et d'espace plus fines, ainsi que par des changements dans la configuration des vents et des mouvements océanographiques qui peuvent résulter des variations à l'intérieur du système climatique planétaire.

A.3 **Quelle est la différence entre le changement climatique et le réchauffement planétaire**

Réponse : Le réchauffement planétaire (tout comme le refroidissement) désigne expressément un changement persistant dans la température moyenne à la surface de la planète. On croit souvent à tort que le réchauffement planétaire sera uniforme, mais, en réalité, il pourra toucher une région de façon très différente d'une autre. Ainsi, certaines régions du monde se réchaufferont davantage et d'autres moins que la moyenne, alors que d'autres pourraient même se refroidir. De plus, une augmentation de la température planétaire moyenne occasionnera aussi des changements à d'autres aspects du système climatique, comme les précipitations et les vents, affectant ainsi les régimes météorologiques autour du monde. En d'autres mots, le réchauffement planétaire n'est que l'un des aspects du changement climatique. Ainsi, l'expression « changement climatique » décrit plus clairement la situation à laquelle fait face la planète de nos jours.

Explication : La réaction initiale du système climatique de la terre à un « forçage du climat »¹ comme une modification du flux d'énergie solaire et thermique à travers l'atmosphère, est un changement des températures à la surface, dans l'atmosphère et dans les océans. Toutefois, ces fluctuations de température sont plus rapides sur terre que dans l'eau et peuvent toucher de nombreux autres aspects du climat. Par exemple, des températures plus chaudes augmenteraient l'évaporation et les concentrations de vapeur d'eau dans l'atmosphère, modifieraient la couverture nuageuse et les précipitations de pluie ou de neige, intensifieraient la fonte des neiges et de la glace et influenceraient sur les vents et courants océaniques, entre autres. Bon nombre de ces changements secondaires se répercutent aussi sur la température, entraînant une interaction complexe de différents processus qui peuvent amplifier la hausse de température dans certaines régions et atténuer les changements, voire susciter un refroidissement, ailleurs. En d'autres termes, un forçage du climat qui entraîne le réchauffement planétaire suscite aussi des changements complexes dans de nombreux autres aspects du climat. L'expression « changement climatique »² décrit donc de façon plus précise la réponse du système climatique à un forçage.

¹ Voir le point A.2 pour une description de forçage du climat.

² Le terme « changement climatique » est utilisé de préférence partout dans ce document. Le terme « réchauffement planétaire », quand il est utilisé, réfère spécifiquement à l'augmentation de la température de surface moyenne planétaire.

A.4 **Qu'est ce que « l'effet de serre » et comment influence-t-il le système climatique**

Réponse : L'effet de serre se rapporte au rôle de l'atmosphère qui isole la planète contre les pertes thermiques, tout comme une couverture, sur un lit, protège le dormeur contre les pertes de chaleur. Les faibles concentrations des « gaz à effet de serre » dans l'atmosphère, qui sont à l'origine de cet effet, laissent passer la plus grande partie de la lumière solaire pour chauffer la planète. Cependant, ces gaz absorbent une bonne partie de l'énergie thermique dégagée par la terre même et la renvoient vers la surface, laquelle reste ainsi beaucoup plus chaude que si ces gaz étaient absents. Ce processus est appelé « effet de serre » car, à certains égards, il joue le même rôle que le verre dans une serre. L'effet de serre fait de la terre un espace vivable et, sans lui, la planète serait trop froide pour soutenir la vie telle que nous la connaissons aujourd'hui.

Explication : La terre est chauffée par la lumière solaire. À son tour, la terre dégage de l'énergie thermique vers l'espace. C'est en fait cet équilibre entre le rayonnement solaire entrant (à ondes courtes) et l'énergie infrarouge sortante (à ondes longues) qui détermine la température de la terre. Toutefois, les gaz et les particules solides et liquides contenus dans l'atmosphère, ainsi que les propriétés de la surface terrestre, influencent le flux d'énergie solaire et thermique en reflétant, en diffusant ou en absorbant et en redirigeant une partie. Environ 31 % de la lumière solaire entrante est réfléchi vers l'espace par les nuages et la surface terrestre. Le reste de l'énergie solaire réchauffe la surface de la terre, les océans et l'atmosphère. Une bonne partie des rayons ultraviolets nocifs contenus dans la

lumière solaire est absorbée par l'ozone (O_3) présent dans la stratosphère. Donc, la couche d'ozone non seulement protège les écosystèmes de la terre contre les dommages, mais elle retient aussi une partie de l'énergie solaire dans la haute atmosphère. Toutefois, tandis que certaines particules atmosphériques peuvent absorber des quantités importantes d'énergie solaire, la plupart des gaz contenus dans l'atmosphère n'en absorbent que très peu, permettant ainsi à l'énergie solaire de passer au travers et d'aller réchauffer la surface de la terre. La terre ainsi réchauffée va alors émettre et retourner de l'énergie thermique (rayonnement infrarouge) vers l'espace. La plus grande partie de ce rayonnement sortant est absorbée par les nuages et les molécules de gaz à effet de serre dans la basse atmosphère, qui la renvoient dans toutes les directions, y compris vers la surface et vers le haut, où d'autres molécules la réabsorbent à leur tour. Ce processus d'absorption et de rémission se répète jusqu'à ce que l'énergie s'échappe finalement de l'atmosphère vers l'espace. Puisqu'une grande partie de l'énergie thermique a été recyclée vers le bas, les températures de surface deviennent beaucoup plus chaudes que s'il n'y avait pas de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ce processus naturel est appelé effet de serre. Sans les gaz à effet de serre naturel en question – comme la vapeur d'eau, le CO_2 , le CH_4 et le N_2O – la température moyenne de la terre serait de $-19^\circ C$ plutôt que de $+14^\circ C$, soit plus fraîche de $33^\circ C$. Au cours des 10 000 dernières années (la période depuis la fin de la plus récente glaciation), la quantité de ces gaz dans notre atmosphère est restée relativement stable, puis, il y a quelques siècles, leurs concentrations ont commencé à augmenter à cause des activités humaines. Cela a contribué à l'intensification de l'effet de serre naturel et a entraîné le changement du climat de la terre.

Référence : Le Treut et coll., 2007.

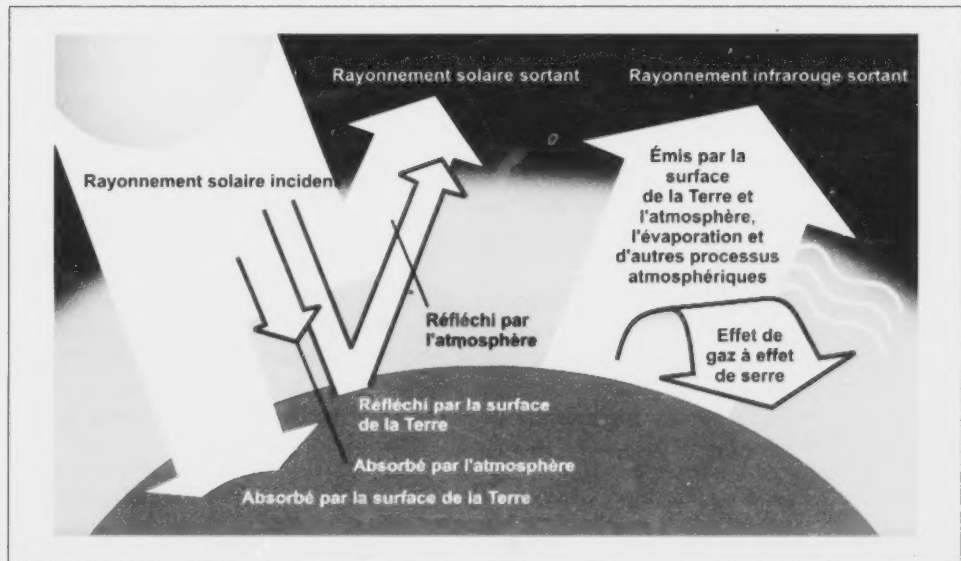


Figure A.4. Un simple schéma de l'effet de serre naturel. Les gaz à effet de serre qui existent naturellement dans l'atmosphère isolent la terre des pertes de chaleur. La température moyenne de la terre est beaucoup plus chaude qu'elle devrait être à cause de cet effet de serre naturel. Dans un climat stable, l'énergie solaire nette absorbée par l'atmosphère terrestre, la surface et les océans est en moyenne égale à l'énergie thermique nette renvoyée vers l'espace par la surface de la terre et l'atmosphère. Accroître l'effet de serre va altérer le bilan énergétique de la terre et avoir un effet de réchauffement sur le climat de la planète (Environnement Canada, 2007a).

A.5

Quels sont les principaux gaz responsables de l'effet de serre naturel et quels sont leurs rôles relatifs

Réponse :

Les gaz à effet de serre naturel importants comprennent la vapeur d'eau, le CO_2 , le CH_4 , l' O_3 et le N_2O . Sans l'effet de serre naturel la température moyenne de la terre serait de $-19^\circ C$ plutôt que de $+14^\circ C$, soit plus fraîche de $33^\circ C$. Environ les deux tiers de l'effet de serre naturel sont attribuables à la vapeur d'eau et un autre quart résulte du CO_2 .

Explication : La vapeur d'eau est le plus important absorbeur de rayonnement infrarouge à grandes longueurs d'onde sortant. Si on ignore les effets radiatifs des autres gaz à effet de serre, la vapeur d'eau est responsable d'environ 60 % à 70 % de l'effet de serre naturel; alors que le CO₂ à lui seul ne compterait que pour environ 25 %. Cependant, la concentration de vapeur d'eau dans l'atmosphère varie en fonction des changements de température et d'autres facteurs tels que des changements dans l'humidité du sol et de la végétation. La quantité totale de vapeur d'eau dans l'atmosphère va augmenter sous un climat plus chaud, car l'atmosphère peut alors retenir plus de vapeur d'eau avant de devenir saturée et de condenser la vapeur d'eau en gouttes de pluie ou flocons de neige. De plus, les températures de surface plus chaudes entraîneront une plus grande évaporation de l'humidité superficielle sous forme de vapeur d'eau. Ce couplage étroit entre la température atmosphérique et la vapeur d'eau atmosphérique est la raison pour laquelle des changements dans la vapeur d'eau sont considérés comme une rétroaction plutôt que comme un forçage climatique. La rétroaction due à la vapeur d'eau est positive, ce qui veut dire qu'une augmentation de la vapeur d'eau va causer une absorption additionnelle du rayonnement infrarouge, accroissant davantage l'effet de serre.

Références : Le Treut et coll., 2007; Shine et coll., 1990.

A.6 Qu'est-ce qui cause le changement climatique

Réponse : Des changements dans le climat peuvent être causés à la fois par des événements et processus naturels et par des influences humaines. Les principaux facteurs naturels sont les changements dans l'intensité de la lumière solaire qui atteint la terre et dans la concentration de la poussière volcanique (qui reflète et diffuse la lumière solaire) dans la stratosphère. Ces deux facteurs modifient la quantité de lumière solaire qui est absorbée par le système climatique de notre planète. Des variations dans les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, produites par des processus naturels, ont également contribué à des changements climatiques survenus par le passé. Les principaux facteurs humains comprennent les émissions de gaz et de particules qui ont une incidence sur la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, causent l'appauvrissement de l'O₃ et sont à l'origine de la pollution atmosphérique régionale. Les changements d'utilisation des terres consécutifs à l'expansion de l'agriculture, de l'urbanisation et d'autres facteurs ont aussi contribué au changement climatique. La plupart des influences humaines ont un effet sur la quantité d'énergie thermique diffusée dans l'espace, et parfois aussi sur la quantité de lumière solaire réfléctée vers l'espace.

Explication : Tout facteur qui perturbe l'équilibre entre la quantité d'énergie de rayonnement solaire absorbée par le système climatique terrestre et l'énergie thermique de rayonnement renvoyée dans l'espace, entraîne la transformation du climat vers un nouvel état et est donc un forçage du climat. Un exemple de forçage climatique qui a un caractère régulier dans l'histoire climatique de la terre, est la variation annuelle ou saisonnière de l'intensité de la lumière solaire atteignant la terre. Certains changements, comme les grandes oscillations glaciaires et interglaciaires aux 100 000 années, qui ont été détectées dans des données de carottes de glaces polaires et dans les sédiments océaniques, semblent avoir été provoqués par des variations cycliques dans l'orbite de la terre autour du soleil. Ces changements d'orbite ont une incidence aussi bien sur la distance qui sépare le soleil de la terre, que sur l'angle d'exposition de notre planète au soleil. De tels cycles de longue durée peuvent faire varier les températures moyennes à la surface de la terre de l'ordre de 4 à 7 °C entre des périodes glaciaire et interglaciaire. Dans les derniers 10 000 ans, la terre se trouve dans la phase interglaciaire chaude d'un tel cycle. D'autres cycles solaires touchant l'intensité de la lumière solaire résultent des variations dans la quantité d'énergie dégagée par le Soleil. Ces cycles d'activité solaire peuvent être beaucoup plus courts, dont le plus court est le très connu cycle de taches solaires, qui dure 11 ans. Enfin, parmi les autres variations d'origine naturelle touchant le forçage du climat se trouvent les éruptions volcaniques de grande envergure, qui sont susceptibles d'augmenter la concentration de particules atmosphériques pendant de courtes périodes, bloquant davantage la lumière solaire. Toutefois, l'ampleur des changements de climat d'origine naturelle pendant la période interglaciaire actuelle est beaucoup plus faible que celles qui ont été produites par les cycles orbitaux plus longs. Depuis plusieurs milliers d'années, par exemple, il semble que les changements nets des températures de surface planétaires moyennes, occasionnés par le forçage du climat d'origine naturelle, aient entraîné des variations à l'intérieur d'une gamme d'environ 1 °C.

La plupart des scientifiques sont maintenant convaincus que les activités humaines modifient aussi le climat, surtout en augmentant la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre. Une des causes majeures est l'augmentation du CO_2 qui est relâché par les humains, surtout à travers la combustion des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) et par le déboisement. Une augmentation des gaz à effet de serre intensifie l'effet de serre naturel et fait augmenter la température moyenne de la surface terrestre. Les émissions d'autres gaz polluants et de particules dans l'atmosphère peuvent aussi être considérables. Toutefois, la plupart de ceux-ci ne restent pas longtemps dans l'atmosphère, et donc leur influence sur le changement climatique peut être importante à l'échelle régionale, mais relativement modeste lorsqu'on en tient compte de façon globale. Ces émissions peuvent aussi avoir des influences contraires pour ce qui est du forçage du climat. Par exemple, les aérosols fuligineux (à base de suie) tendent à absorber l'énergie solaire et l'énergie thermique de rayonnement, ce qui se traduit par une influence de réchauffement. Les aérosols sulfatés, par contre, réfléchissent et diffusent la lumière solaire entrante, à la fois directement et en altérant la quantité de nuages et la brillance de ces derniers, ce qui tend à refroidir le climat. Même si les effets immédiats de tels aérosols se feront surtout sentir dans les régions industrialisées d'où originent la plupart des émissions, ces aérosols peuvent aussi modifier indirectement les températures moyennes globales ainsi que les courants de vents. L'appauvrissement de l' O_3 par les activités humaines tend aussi à refroidir la surface terrestre (voir B.11). Enfin, un changement de l'utilisation des terres peut modifier l'albédo de la surface de la terre, la rendant plus ou moins réfléchissante. En ce sens, un changement d'utilisation du sol peut contribuer au changement climatique.

A.7

Y a-t-il des éléments attestant que des variations passées des concentrations des gaz à effet de serre aient été liées au changement climatique

Réponse :

Oui. Par exemple, le rapport entre les gaz à effet de serre et le changement climatique est très bien étayé par des analyses d'échantillons de glace pris au plus profond des calottes polaires de l'Antarctique et du Groënland. Ces échantillons offrent d'excellentes archives de bulles d'air fossilisées piégées dans la glace, et donnent ainsi un registre des variations de concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère au cours de centaines de milliers d'années. Les concentrations relatives des différents isotopes d'oxygène et d'hydrogène contenus dans la glace même peuvent également faire état de la façon dont les températures régionales de l'air ont changé au fil du temps. Ces analyses indiquent qu'il existe de fortes corrélations entre les concentrations de CO_2 , de CH_4 et de N_2O dans l'atmosphère et la température de l'air dans l'Antarctique et au Groënland.

Explication :

Des études à partir d'échantillons de carottes de glace ont établi la preuve qu'il existe un lien entre les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et les changements climatiques survenus par le passé. Par exemple, les analyses scientifiques les plus récentes des échantillons de carottes de glace prises dans l'Antarctique, fournissent des relevés sur les variations du climat et des gaz à effet de serre au cours des 650 000 dernières années. Tel qu'illustré dans la figure qui suit, ces données concordent bien. Au cours des périodes glaciaires, les températures locales moyennes dans l'Antarctique étaient approximativement 10°C plus froides que celles d'aujourd'hui, alors que les concentrations de CO_2 , de CH_4 et de N_2O ont plongé à leurs valeurs les plus basses de, respectivement, 200 parties par million (ppm), 400 parties par milliard (ppb) et 220 ppb. Pendant les phases interglaciaires chaudes, quand les températures étaient similaires ou légèrement plus chaudes qu'aujourd'hui, les concentrations de gaz ont augmenté respectivement à 300 ppm, à 700 ppb et à 280 ppb. Ces relevés indiquent aussi que les concentrations actuelles de CO_2 , de CH_4 et de N_2O sont sans précédent depuis au moins les 650 000 dernières années. Il existe aussi des indications selon lesquelles, à l'échelle de millions d'années, le climat de la terre était chaud pendant les périodes où les concentrations de CO_2 étaient élevées et beaucoup plus froid quand ces concentrations étaient plus basses. Cela fournit des preuves supplémentaires de l'étroit couplage entre les concentrations de gaz à effet de serre et le climat. La compréhension scientifique actuelle suggère que si des changements de forçage solaire ont probablement initié un réchauffement ou un refroidissement climatique, des changements dans les concentrations de gaz à effet de serre ont amplifié le changement initial de climat.

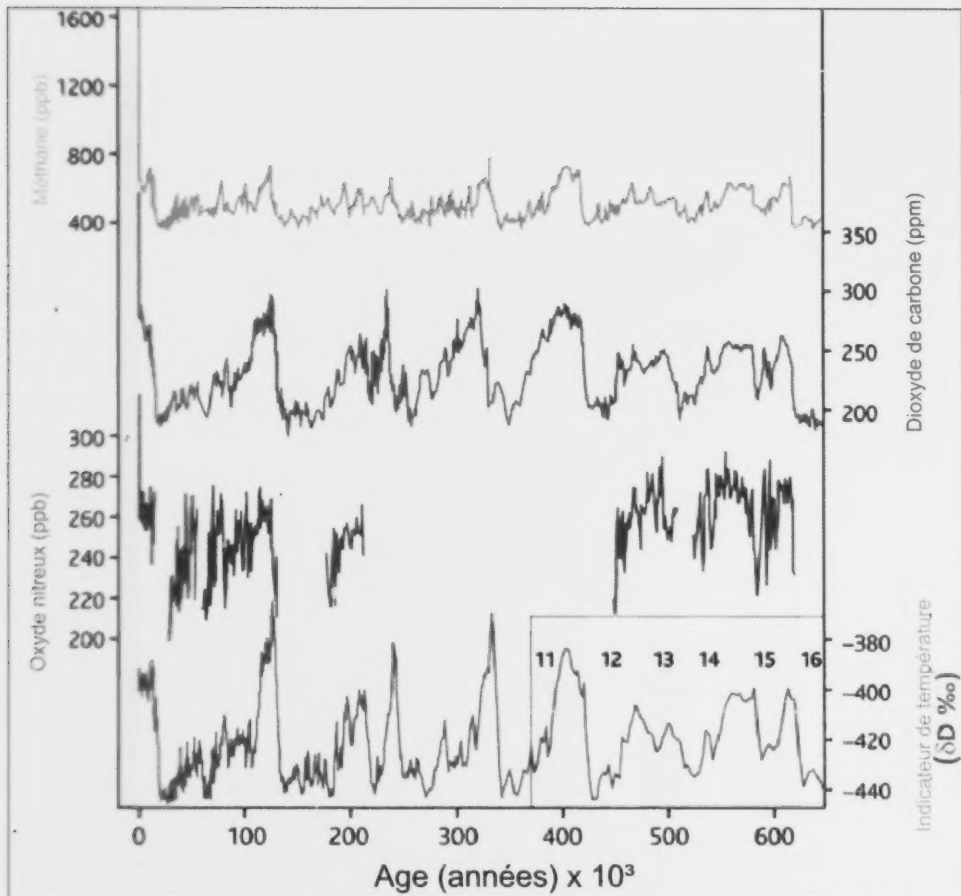


Figure A.7. Relevés des gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 et N_2O) et de deutérium (δD) au cours des 650 000 dernières années, provenant d'échantillons de carottes de glace du Programme européen pour le carottage de la glace dans l'Antarctique (EPICA) et de d'autres carottes de glace, avec des corrélations de stades de l'isotope marin (étiquetées dans le coin inférieur droit) pour les stades 11 à 16. δD , un indicateur de la température de l'air, dénote le rapport entre le deutérium et l'hydrogène de la glace exprimé comme une déviation en millièmes de la valeur d'une norme d'isotope. Les valeurs plus positives représentent des conditions plus chaudes. Des données concernant les 200 dernières années, provenant des registres d'autres carottes de glace et des mesures atmosphériques effectuées directement au pôle Sud sont également incluses (Brook, 2005).

A.8

Les données de carottes de glace montrent que, pendant les cycles glaciaires et interglaciaires, les variations des concentrations de CO_2 se produisaient après celles des températures polaires. N'est-ce pas une indication que le changement climatique provoque les variations des concentrations de CO_2 plutôt que le contraire?

Réponse :

L'analyse de relevés des carottes de glace dénote en effet que les changements des concentrations de CO_2 dans le passé semblent être une réaction au changement climatique plutôt que leur cause. Toutefois, il existe des preuves évidentes selon lesquelles les changements initiaux du climat, que l'on croit attribuables à des fluctuations de l'orbite terrestre autour du Soleil, auraient entraîné une libération rapide des gaz à effet de serre, tout particulièrement de CO_2 , qui a contribué considérablement au réchauffement initial. En fait, des études avec modèles suggèrent qu'environ la moitié de l'ampleur des variations de température planétaire de 4 à 7 °C, qui se produisent entre la période glaciaire et la période interglaciaire, peut être attribuée aux rétroactions dues aux émissions de gaz à effet de serre.

Explication : L'analyse des échantillons des carottes de glace a démontré qu'au cours des 650 000 années figurant dans le relevé, les fluctuations de CO_2 n'ont jamais été la cause initiale des grands mouvements du climat d'un état glaciaire à un état interglaciaire. Il semble que ces mouvements aient été induits par les variations de l'orbite terrestre autour du Soleil. Toutefois, il semble que les variations initiales du climat aient contribué à accroître rapidement l'émission de CO_2 , de CH_4 et de N_2O provenant de diverses sources naturelles. Les eaux profondes des océans ont probablement été la source principale des émissions de CO_2 . Il semble que cette réaction ait eu lieu si rapidement que tout retard entre la variation de température et la réaction sous forme de CO_2 était de l'ordre de plusieurs siècles à un millénaire, ce qui est très rapide aux échelles de temps géologiques. Les simulations par modèle climatique montrent qu'il est impossible d'expliquer l'ampleur totale des variations de température en tenant uniquement compte du forçage du climat qu'entraînent les changements d'orbite. Plutôt, les changements subséquents de concentrations des gaz à effet de serre semblent avoir contribué à environ 50 % du changement climatique. Cette constatation, pour sa part, établit la preuve que les gaz à effet de serre jouent un rôle important dans le système climatique, et qu'une augmentation de leurs concentrations, attribuables aux émissions directes liées aux activités humaines, contribueraient également à réchauffer les climats.

Référence : Jansen et coll., 2007.

B. Influences humaines sur l'atmosphère

B.1 Quelle a été l'augmentation des concentrations des principaux gaz à effet de serre naturels dans l'atmosphère depuis quelques années?

Réponse : En 2005, les concentrations de CO_2 avaient augmenté de 36 % par rapport aux niveaux préindustriels atteints vers la moitié du 18^e siècle, celles du CH_4 de 148 %, alors que le N_2O avait augmenté de 18 %. Il semble que les concentrations actuelles de ces gaz soient sans précédent au moins pour ce qui est des 650 000 dernières années. Il y a de bonnes preuves que ces augmentations sont surtout attribuables aux activités humaines, tout particulièrement l'emploi de combustibles fossiles pour le transport, le chauffage et l'électricité, ainsi que les changements d'utilisation des terres. La hausse des niveaux de CO_2 compte pour plus des deux tiers des augmentations de l'effet de serre suscitées jusqu'ici par les gaz à effet de serre.

Explication : Les données provenant de carottes extraites des calottes glaciaires contiennent des bulles d'air fossilisées qui constituent des échantillons de la composition chimique de l'atmosphère lors d'une époque éloignée. Ces données montrent que la concentration de CO_2 dans l'atmosphère n'a pas dépassée 300 parties par million en volume (ppm) sur la période totale de 650 000 années et qu'elle s'est maintenue entre 260 et 280 ppm au cours des 10 000 dernières années (soit la période interglaciaire actuelle), et ce, jusqu'à il y a 250 ans, quand elle a commencé à augmenter. En 2005, la concentration de CO_2 dans l'atmosphère était passée à 379 ppm, avec la majeure partie de cette augmentation dans les 50 dernières années. Entre-temps, les concentrations de CH_4 , et de N_2O ont augmenté respectivement des niveaux préindustriels de 715 parties par milliard en volume (ppbv) et de 270 ppb à environ 1774 ppb et 319 ppv. Ensemble, ces trois gaz ont augmenté l'intensité de l'effet de serre naturel de 2,3 watts par mètre carré (W/m^2)³, dont 1,66 W/m^2 est attribuable au seul CO_2 .

Référence : Forster et coll., 2007.

³ Un W/m^2 de forçage du climat peut équivaleir approximativement à l'effet obtenu en plaçant une ampoule électrique de 100 W à des intervalles de 10 mètres autour de toute la surface de terre, puis en transformant l'énergie générée par les ampoules en énergie thermique.

B.2 Comment les concentrations des autres gaz à effet de serre ont-elles changé depuis quelques années?

Réponse : Outre le CO_2 , le CH_4 , et le N_2O , bon nombre des autres gaz à effet de serre contenus dans l'atmosphère ont augmenté. Par exemple, les concentrations d' O_3 dans la basse atmosphère (troposphère) dans les régions industrialisées à l'échelle mondiale ont augmenté considérablement par rapport aux niveaux préindustriels. Entre-temps, les activités réalisées en génie chimique ont aussi contribué à la création d'une série d'autres gaz à effet de serre nouveaux qui n'existaient pas du tout dans l'atmosphère préindustrielle, dont les gaz halocarbonés persistants sont notamment importants. Les concentrations atmosphériques de ces derniers se comptent en effet par dizaines et jusqu'à des centaines de parties par trillion (ppt). Bien que les concentrations de ces nouveaux gaz à effet de serre soient encore très faibles par rapport à celles des principaux gaz à effet de serre, il s'agit néanmoins de gaz remarquablement puissants qui, une fois rejetés, peuvent rester dans l'atmosphère pendant des siècles, voire des millénaires. À ce jour, on attribue à l'augmentation conjointe de l' O_3 troposphérique et des halocarbures l'intensification de l'effet de serre naturel d'environ 0,7 W/m^2 – ce qui ajoute un 30 % supplémentaire au forçage du climat occasionné par les augmentations des trois gaz à effet de serre principaux.

Explication : Bien que l'O₃ troposphérique se produise de façon naturelle, il a une très courte durée de vie. Donc, les concentrations préindustrielles de l'O₃ étaient donc très basses. Les émissions de gaz qui contribuent à la production chimique de l'O₃ (connus comme précurseurs de l'O₃), tels que les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone et les hydrocarbures, ont largement contribué à augmenter les concentrations d'O₃ dans la basse atmosphère dans de nombreuses régions industrialisées du monde. Des études avec modèles suggèrent que ces augmentations, moyennées à l'échelle de la planète, ont probablement intensifié l'effet de serre d'environ 0,35 W/m².

Entre-temps, les procédés anthropiques industriels et de génie chimique ont généré toute une gamme d'autres gaz à effet de serre (notamment les halocarbures et l'hexafluorure de soufre). Bien que leurs concentrations demeurent très faibles, ce sont pourtant des gaz à effet de serre puissants. Par exemple, l'incidence d'un seul kg de certains de ces gaz sur l'effet de serre naturel équivaut à celle qu'aurait le rejet de dizaines de milliers de kg de CO₂. Les halocarbures à eux seuls ont fait augmenter l'effet de serre naturel de 0,34 W/m², bien qu'ils soient présents en infimes quantités (parties par trillions) dans l'atmosphère. Certains de ces halocarbures ont par ailleurs occasionné une destruction excessive d'O₃ dans la stratosphère (dans la couche d'ozone). Comme l'O₃ est un gaz à effet de serre, sa diminution dans la stratosphère entraîne une légère baisse de l'effet de serre net, car il compense les effets des autres gaz à effet de serre de -0,05 W/m². Puisque l'appauvrissement d'O₃ stratosphérique entraîne une exposition accrue des matières et de la vie sur la surface terrestre au rayonnement ultraviolet dangereux, la production et l'utilisation d'halocarbures appauvrissant la couche d'O₃ sont actuellement limitées en vertu du Protocole de Montréal⁴.

Référence : Forster et coll., 2007

⁴ Le Protocole de Montréal s'inscrit dans une entente internationale visant à contrôler la production et l'émission de substances qui contribuent à l'appauvrissement de l'O₃ dans la stratosphère. Ces substances incluent un nombre de gaz halon, tout particulièrement les chlorofluorocarbures, les hydrochlorofluorocarbures et les chlorocarbures, qui sont eux aussi des gaz à effet de serre puissants. Toutefois, les autres halons qui ne contribuent pas à l'appauvrissement d'O₃, comme les fluorocarbures, ne sont pas contrôlés en vertu du Protocole de Montréal.

B.3 Comment les scientifiques savent-ils que l'accumulation atmosphérique de gaz à effet de serre est attribuable aux activités humaines?

Réponse : Plusieurs facteurs pointent clairement vers les activités humaines comme principale source de concentrations accrues et observées des gaz à effet de serre. Par exemple, le taux actuel d'augmentation des concentrations correspond bien aux changements dans le taux des émissions anthropiques et se situe à un niveau sans précédent au cours de plusieurs millénaires d'histoire atmosphérique. De plus, les tendances dans les rapports entre les isotopes de carbone dans le CO₂ atmosphérique et dans la distribution de CO₂ dans l'atmosphère sont conformes à des émissions anthropiques. Des preuves semblables montrent le rôle des humains dans l'augmentation des autres gaz à effet de serre.

Explication : La rapide augmentation de concentrations des gaz à effet de serre au cours du siècle dernier est conforme aux tendances constatées dans les émissions anthropiques, et est sans précédent depuis au moins 650 000 ans et probablement 20 millions d'années (voir la figure A.7). En outre, la concentration des molécules de CO₂ dans l'atmosphère contenant l'atome radioactif carbone 14 (après ajustement pour les essais nucléaires effectués au cours des années 1950) est en baisse. Ceci est en accord avec des émissions accrues de CO₂ attribuables à la combustion de charbon, de pétrole et de gaz naturel, autant de substances contenant du « vieux » carbone sans carbone 14. Les changements survenus avec le temps dans les rapports du carbone 13 et du carbone 12 dans les océans concordent également avec les émissions anthropiques, tout comme le gradient latitudinal nord-sud dans les concentrations atmosphériques de CO₂. Finalement, les modèles du bilan du carbone, qui peuvent maintenant reproduire très exactement le cycle global du carbone, montrent du doigt les émissions anthropiques. En effet, l'absorption et l'accumulation accrues de CO₂ par la biosphère terrestre et les océans de la planète ont contribué à éliminer environ la moitié des émissions rejetées dans l'atmosphère qui sont attribuables aux sources humaines. Des études semblables, entreprises pour le CH₄ et le N₂O, révèlent également une forte contribution humaine. Cependant, on comprend moins bien l'envergure exacte du rôle humain relativement à ces gaz, à cause de l'incertitude entourant les

nombreux processus biologiques intervenant dans les émissions tant naturelles qu'anthropiques. Finalement, les gaz à l'état de traces comme les halocarbures et l'hexafluorure de soufre n'ont aucune source naturelle majeure. Il y a de fortes preuves que les changements survenus dans leurs concentrations sont entièrement causés par les émissions anthropiques.

B.4 Quelles activités humaines contribuent le plus à la présence de gaz à effet de serre dans l'atmosphère?

Réponse : La combustion de combustibles fossiles (principalement de charbon, de pétrole et de gaz naturel) représente actuellement de 70 % à 90 % de toutes les émissions anthropiques de CO_2 . Les combustibles fossiles servent au transport, à la fabrication, au chauffage, à la climatisation, à la production d'électricité et à d'autres applications. Les autres émissions anthropiques de CO_2 proviennent de l'utilisation des terres : l'élevage, l'agriculture, le déboisement et la dégradation des forêts. Dans le cas des autres gaz à effet de serre, les principales sources englobent la production et le transport de combustibles fossiles, les activités agricoles, la gestion des déchets et les procédés industriels.

Explication : Entre les années 2000 et 2005, les humains ont rejeté plus de 26 milliards de tonnes de CO_2 par année dans l'atmosphère, par la seule combustion de combustibles fossiles pour produire de l'énergie. Les émissions de CO_2 associées aux changements d'utilisation des terres, bien que beaucoup plus incertaines que celles attribuables à la combustion de combustibles fossiles, ont été grossièrement estimées à environ 6 milliards de tonnes par année. La forte croissance forestière et l'amélioration de la gestion des sols dans certaines régions de la planète ont compensé l'effet de certaines de ces émissions attribuables à l'utilisation des terres.

Les émissions de CH_4 ont des causes tant naturelles qu'anthropiques. Le CH_4 est le deuxième gaz à effet de serre le plus important, après le CO_2 . La culture du riz, l'élevage des bovins et des moutons, ainsi que la décomposition des matières dans les décharges, dégagent tous du CH_4 au même titre que les mines de charbon, le forage pétrolier et les fuites dans les canalisations de gaz. Les émissions de N_2O provient à la fois de sources naturelles et d'activités humaines. L'emploi de combustibles fossiles, les pratiques industrielles et agricoles (y compris l'usage d'engrais chimiques), contribuent tous à l'émission d'oxyde nitreux. La production industrielle de chlorofluorocarbures (CFC) et d'autres halocarbures (employés en réfrigération, en climatisation et comme solvants) a ajouté d'autres gaz à effet de serre, mais bon nombre de ces sources sont graduellement éliminées en vertu du Protocole de Montréal, car elles amenuisent la couche d'ozone stratosphérique (voir le point B.2). L' O_3 de la troposphère (la partie inférieure de l'atmosphère) est non seulement un autre ingrédient clé du smog, mais il est aussi un gaz à effet de serre. Il est produit principalement comme résultat des réactions chimiques comportant des gaz fortement réactifs, tels que les dioxydes d'azote, les monoxydes de carbone et les hydrocarbures libérés par le transport et des sources industrielles. Étant donné que ces gaz contribuent à la production d' O_3 , ils sont communément connus comme des précurseurs de l' O_3 .

Au Canada, environ 37 % de toutes les émissions de gaz à effet de serre survenues en 2005 trouvent leur origine dans la production d'énergie pour les Canadiens et les Canadiennes et pour l'exportation. Ces émissions attribuables à la production d'énergie se répartissent presque également entre la production d'électricité à partir de combustibles fossiles et l'exploration et la production de charbon, de pétrole et de gaz naturel pour le marché énergétique. Une autre proportion de 27 % est produite par le transport de marchandises et de personnes dans tout le Canada (par camion, par automobile, par avion, par train, par bateau ou par d'autres moyens de transport). Les activités minières, la fabrication et les procédés industriels ont ajouté une autre tranche de 16 %. L'usage non électrique de l'énergie dans les secteurs résidentiel, commercial et institutionnel représente environ 11 %, l'utilisation des terres, la foresterie et les activités agricoles environ 5 % et la gestion des déchets presque 4 %.

Les mêmes sources d'émissions se manifestent dans d'autres pays, bien que les rapports diffèrent selon le type d'économie, de culture et de climat.

Référence : Environnement Canada, 2007b.

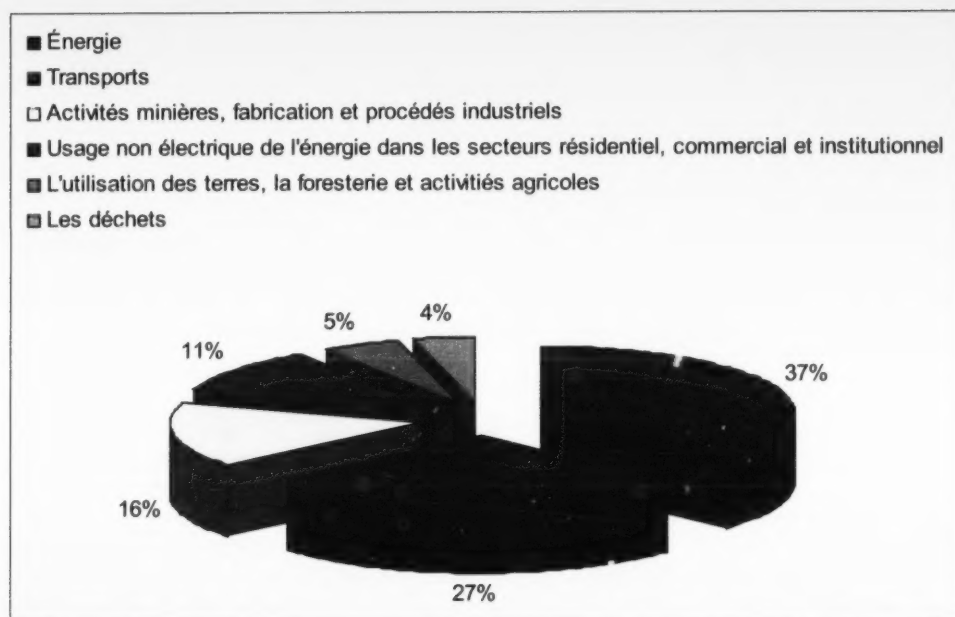


Figure B.4. Les émissions canadiennes de gaz à effet de serre, par secteur (données de 2005). Le secteur de l'énergie inclut la production d'électricité et de chaleur, les industries de combustibles fossiles et les émissions fugaces. Le secteur des activités minières, de la fabrication et des procédés industriels combine les émissions directes et appartenant à l'énergie (incluant celles à partir de l'utilisation de solvants). (Tiré du tableau : Répartition sectorielle des émissions de GES au Canada, Environnement Canada, 2007b).

B.5 Étant donné que les gaz à effet de serre ne constituent qu'une infime partie de l'atmosphère, comment un changement de leurs concentrations peut-il avoir des significatifs effets sur le climat planétaire?

Réponse : L'ensemble des gaz à effet de serre constituent moins de 1 % du volume de l'atmosphère. Cependant, la plupart d'entre eux sont très efficaces pour absorber la chaleur dégagée par la terre et l'emprisonner (tout comme une couverture sur un lit). Il suffit de petites quantités de ces gaz pour modifier considérablement les propriétés isolantes de l'atmosphère.

Explication : Dans une proportion de 99 %, l'atmosphère sèche se compose d'azote et d'oxygène, qui sont relativement transparents pour la lumière solaire et l'énergie infrarouge dégagée par la terre. Par conséquent, ils ont peu d'effet sur le passage de la lumière solaire et de l'énergie thermique à travers l'air. En comparaison, les gaz atmosphériques à l'origine de l'effet de serre naturel de la terre totalisent moins de 1 % de l'atmosphère, mais collectivement (y compris la vapeur d'eau), ils augmentent d'environ 33 °C (soit de -19 °C à +14 °C) la température moyenne de la surface terrestre. De plus, étant donné leur faible concentration dans l'atmosphère, il est possible pour les émissions anthropiques d'exercer sur eux un effet important. Par exemple, au cours de la période allant de 2000 à 2005, les émissions anthropiques de CO₂ provenant de la combustion de combustibles fossiles et de changements dans l'utilisation des terres, se sont élevées à peu près à 32 milliards de tonnes par année. Au cours du siècle prochain, ces émissions anthropiques devraient accroître la concentration de CO₂ dans l'atmosphère du taux actuel de 0,038 % à presque certainement 0,06 % (environ le double des niveaux préindustriels) et probablement à 0,09 % (le triple). Étant donné que la production de chaque molécule de CO₂ supprime une molécule d'oxygène de l'atmosphère, une double concentration de CO₂ ne ferait passer le volume d'oxygène de l'atmosphère que de 20,95 % à environ 20,92 %. Autrement dit, puisque le volume d'oxygène est beaucoup plus élevé, les mêmes activités humaines ont très peu d'effet sur ses concentrations.

B.6

Étant donné que la majeure partie du CO₂ ajoutée à l'atmosphère chaque année provient de sources naturelles, comment nos interventions peuvent-elles changer de façon significative la concentration de ce gaz dans l'atmosphère?

Réponse : Pendant des milliers d'années, les fortes émissions naturelles de CO₂ dans l'atmosphère, produites par les océans et les écosystèmes terrestres, ont été presque parfaitement compensées par les grandes quantités de CO₂ retirées de l'atmosphère par des processus naturels comme la photosynthèse et le piégeage océanique. Ces processus font partie du cycle de carbone qui se manifeste naturellement sur la terre. Les émissions anthropiques ont perturbé cet équilibre. Tout comme un déficit relativement léger, et récurrent au fil du temps dans un budget financier familial peut entraîner l'accumulation d'une forte dette, ce déséquilibre a causé une forte accumulation de CO₂ dans l'atmosphère.

Explication : Les émissions anthropiques de CO₂ dans l'atmosphère, actuellement évaluées à environ 32 milliards de tonnes par année, représentent quelque 6 % du flux naturel moyen de CO₂ dans l'atmosphère, imputable à la respiration des plantes et des sols ainsi qu'à la ventilation à partir des eaux de surface des océans (au total, environ 550 milliards de tonnes par année). Cependant, les émissions naturelles sont compensées par les processus naturels d'absorption, comme celle du CO₂ par la photosynthèse des plantes ainsi que par le piégeage océanique. Tout comme un compte bancaire, les changements dans la quantité de dioxyde de carbone de l'atmosphère (le « solde » du bilan global en carbone) sont déterminés par la différence nette moyenne entre les apports (émissions ou « sources ») et les retraits (absorption ou « puits »), et non par l'envergure des flux proprement dits. Des échantillons d'air provenant d'une époque lointaine, emprisonnés sous forme de bulles dans de la glace enfouie profondément dans les calottes polaires du Groënland et de l'Antarctique, peuvent fournir de bons indicateurs de l'évolution de cet « équilibre » au cours des 650 000 dernières années. Ils montrent clairement que, pendant la période préindustrielle de l'actuelle ère interglaciaire (les 10 000 dernières années), la concentration atmosphérique de CO₂ n'a varié que d'un faible pourcentage par rapport à une valeur moyenne de 280 parties par million (ppm). Cela sous-entend que le bilan naturel du carbone était en moyenne bien équilibré (c'est-à-dire qu'en moyenne, les apports équivalaient aux retraits) pendant cette période. Ce fait, allié à d'autres sources de renseignements, montre que l'effet cumulatif d'un déséquilibre léger mais persistant et croissant, introduit dans le bilan du carbone par les humains, est la principale cause de l'augmentation de 36 % des concentrations de CO₂ constatée depuis quelques siècles.

Référence : Forster et coll., 2007.

B.7

Les volcans ne dégagent-ils pas naturellement beaucoup plus de CO₂ dans l'atmosphère chaque année que les humains?

Réponse : Non. À l'échelle planétaire, les émissions volcaniques équivalent à moins de 1 % des émissions anthropiques de CO₂ et contribuent donc fort peu aux changements dans la concentration atmosphérique de ce gaz. Dans tous les cas, les émissions volcaniques ont toujours fait partie du cycle naturel, qui est demeuré à peu près équilibré pendant de nombreux millénaires, jusqu'à la révolution industrielle.

Explication : Des estimations effectuées par des volcanologues du Geological Survey américain montrent que, dans l'ensemble, les volcans rejettent quelque 150 millions de tonnes (150 Mt) de CO₂ dans l'atmosphère chaque année. En comparaison, les humains émettent annuellement plus de 26 milliards de tonnes (Gt) de CO₂ par la combustion de combustibles fossiles, et à peu près six (6) Gt de CO₂ supplémentaires attribuables à des activités qui contribuent au déboisement, à la dégradation des forêts et à d'autres types de changements d'utilisation des terres. Cela revient à plus de 100 fois la quantité des émissions volcaniques.

Le mont Etna, en Sicile, est considéré comme la plus grande source volcanique de CO₂, évaluée à 25 Mt de CO₂ par année. En comparaison, les émissions du mont St. Helens, après son éruption il y a plusieurs décennies, étaient inférieures à deux (2) Mt de CO₂ par année.

Toutefois, il convient de remarquer que certaines émanations volcaniques peuvent avoir un effet important sur le climat compte tenu des forts volumes d'aérosols sulfatés qu'elles rejettent dans la stratosphère. Ces aérosols contribuent à la réflexion de la lumière solaire entrante pour plusieurs années. Puisqu'ils peuvent rester dans la stratosphère pendant plusieurs années; c'est-à-dire jusqu'à ce qu'ils soient retirés par l'action de la gravité, ils peuvent occasionner un refroidissement planétaire peu durable, mais d'importance considérable.

Référence : Gerlach, 1991.

B.8

N'est-il pas vrai que la vapeur d'eau domine l'effet de serre d'origine naturel, rendant ainsi insignifiants les changements survenus dans les concentrations des autres gaz à effet de serre?

Réponse :

Non! Même si la vapeur d'eau cause environ les deux tiers de l'effet de serre naturel, les changements de sa concentration sont déterminés essentiellement par l'évolution de la température atmosphérique et les effets connexes sur le cycle hydrologique. À mesure que d'autres gaz à effet de serre réchauffent l'atmosphère et la surface, la quantité de vapeur d'eau augmente elle aussi, amplifiant l'effet initial de réchauffement des autres gaz à effet de serre. Ainsi, la vapeur d'eau fournit une forte rétroaction positive aux autres forçages du climat, mais elle ne constitue pas un facteur déclencheur du changement climatique.

Explication :

La vapeur d'eau est en effet le plus important gaz à effet de serre de l'atmosphère. Si on ignore les autres gaz, elle compterait pour environ 60 à 70 % des valeurs observées de l'effet de gaz naturel, en comparaison d'environ 25 % s'il n'y avait que du CO₂. Cependant, les humains ont peu d'effet direct sur les concentrations de vapeur d'eau, lesquelles réagissent plutôt aux changements de température et à d'autres procédés atmosphériques naturels. Les températures atmosphériques plus chaudes, attribuables aux plus fortes concentrations de gaz à effet de serre ou à d'autres causes, augmentent la quantité de vapeur d'eau que l'atmosphère peut retenir. De même, des températures de surface plus chaudes augmentent le rythme d'évaporation globale de l'eau à partir des écosystèmes terrestres et des surfaces océaniques. Une bonne partie de l'eau provenant de l'augmentation de l'évaporation retombe en précipitations accrues, mais une certaine proportion demeure dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Depuis quelques décennies, par exemple, une augmentation des températures globales s'est accompagnée d'une hausse des précipitations planétaires et de la teneur en humidité de l'atmosphère au-dessus de nombreuses régions du monde. L'augmentation de la vapeur d'eau influe également sur d'autres aspects du système climatique, surtout les nuages. La plupart des scientifiques conviennent que l'effet global des répercussions directes et indirectes causées par la teneur en humidité accrue dans l'atmosphère augmente beaucoup le réchauffement initial ayant causé la hausse : autrement dit, il s'agit d'une forte rétroaction positive. Cependant, l'envergure de cet effet dépend de l'endroit où l'augmentation se produit dans l'atmosphère. Si c'est dans des régions atmosphériques où l'air est déjà proche des niveaux de saturation, par exemple dans les tropiques, l'effet supplémentaire est faible. Si, par contre, l'effet se manifeste dans de l'air sec situé au-dessus des déserts ou dans la haute troposphère, l'effet peut être très prononcé. La plupart des modèles suggèrent que l'effet de rehaussement, dans l'ensemble, sera très important (de l'ordre de 60 % du forçage climatique initial). Cependant, cette rétroaction est très complexe et son envergure demeure l'une des principales incertitudes des modèles climatiques.

Références : Shine et coll., 1990; Forster et coll., 2007.

B.9

N'est-il pas vrai que les émissions anthropiques d'aérosols refroidissent le climat et, par conséquent, compensent les émissions de gaz à effet de serre?

Réponse :

Bon nombre des mêmes activités humaines qui émettent des gaz à effet de serre rejettent également des aérosols de diverses sortes dans l'atmosphère, y compris les aérosols sulfatés et fuligineux (à base de suie), les particules de combustion de la biomasse et la poussière du sol. En plus de refléter ou d'absorber directement la lumière solaire, ces aérosols peuvent modifier les processus des nuages. Certains aérosols, comme les particules de suie, peuvent réchauffer l'atmosphère

alors que d'autres, surtout les aérosols sulfatés, entraînent un refroidissement. Cependant, puisqu'ils ne demeurent dans l'atmosphère que quelques jours à quelques semaines, leurs effets sur le climat sont plus forts dans des régions qui sont près de leurs sources, et ce, tant et aussi longtemps que les émissions se poursuivent. Ces effets sont encore mal compris. La plupart des études montrent que, bien que les aérosols aient causé un forçage du climat à l'échelle globale au cours du siècle dernier, ce rôle a été secondaire par rapport à celui des gaz à effet de serre. Étant donné que, dans de nombreux pays, l'émission de ces aérosols est maintenant contrôlée pour réduire la pollution atmosphérique locale, on s'attend à ce que l'effet relatif des gaz à effet de serre sur le climat futur soit beaucoup plus important que celui des aérosols.

Explication : Les aérosols sont des petites particules solides et des gouttelettes liquides rejetées dans l'atmosphère par bon nombre des mêmes activités humaines qui émettent des gaz à effet de serre. Cela englobe les aérosols sulfatés et la suie provenant de la combustion des combustibles fossiles, les émanations de la biomasse suscitées par la combustion de la végétation, ainsi que la poussière minérale produite par les activités agricoles. Certains aérosols, comme la suie, sont foncés et absorbent donc la lumière solaire, ce qui réchauffe l'atmosphère. D'autres, comme les aérosols sulfatés, reflètent la lumière solaire et entraînent un refroidissement (les deux sortes d'aérosols absorbent l'énergie thermique sortante, ce qui a un effet de réchauffement, cependant cet effet est petit comparé aux effets de la radiation solaire). Enfin, ces aérosols peuvent également rendre les nuages plus brillants et plus durables. Étant donné que, contrairement aux gaz à effet de serre persistants, les aérosols ne demeurent dans la basse atmosphère que quelques jours à quelques semaines, ils ne se répandent pas dans le monde entier, mais demeurent concentrés dans des régions industrielles ou agricoles, ou sous le vent de ces dernières. Vu leur répartition irrégulière, leur effet est beaucoup plus prononcé dans certaines parties du monde que dans d'autres, de sorte qu'ils ont un effet complexe sur le climat, y compris des changements dans la circulation et les caractéristiques des nuages, de même que dans le réchauffement ou le refroidissement de certaines régions locales.

À l'échelle planétaire, certains des effets de réchauffement et de refroidissement des divers aérosols s'annulent mutuellement. Cependant, même si l'on est loin d'en être sûr, ils ont probablement eu pour effet net un refroidissement d'environ $-1,2 \text{ W/m}^2$. Ainsi, ces aérosols ont « masqué » certaines des répercussions des augmentations des concentrations de gaz à effet de serre (estimées à environ 3 W/m^2). Si leurs émissions devaient cesser en une journée, ils disparaîtraient rapidement, démasquant le plein effet des concentrations croissantes des gaz à effet de serre.

Bon nombre de pays ont déjà entrepris des programmes pour réduire l'émission de ces aérosols ou de leurs précurseurs afin d'améliorer la qualité locale de l'air, de sorte que leurs concentrations diminuent dans la plupart des régions industrialisées. Cependant, elles continuent d'augmenter dans d'autres régions en voie d'industrialisation. Il est probable que ces régions devront également réduire leurs émissions à l'avenir pour protéger la qualité locale de l'air. Les spécialistes estiment que l'influence des aérosols sera nettement moins prononcée que celle des gaz à effet de serre, au cours des prochaines décennies.

Référence : Forster et coll., 2007.

B.10

J'ai entendu dire que l'assombrissement global peut avoir compensé l'effet de réchauffement dû au tau croissant de concentrations des gaz à effet de serre. Est-ce vrai?

Réponse : L'assombrissement global est un terme courant qui renvoie à la réduction de la quantité de lumière du soleil qui atteint la surface de la terre. Ces réductions ont été observées entre 1961 et 1990 à des nombreuses stations de surveillance dans le monde entier. Toutefois, depuis le début des années 90, le rayonnement solaire à la surface terrestre a augmenté de nouveau. Certains soutiennent que cette augmentation peut être occasionnée par un soleil plus brillant. Pourtant, diverses études montrent que ces tendances se concentrent sur de grandes agglomérations urbaines et sont intimement reliées aux changements de la couverture nuageuse et aux concentrations d'aérosol dans l'atmosphère. Par conséquent, l'assombrissement et l'éclaircissement globaux sont simplement, à de nombreux égards, un résultat des variations dans les concentrations des aérosols plutôt qu'une source indépendante de forçage du climat.

Explication : Par le passé, les chercheurs ont signalé une réduction du rayonnement solaire descendant d'environ 1,3 % par décennie, observée aux stations terrestres mondiales entre 1961 et 1990. Certains spécialistes ont traité cette tendance d'assombrissement global. Depuis 1990, le niveau de rayonnement s'est rétabli à un taux similaire. Cependant, ces mesures en soi ne suffisent pas à déterminer si ces changements ont été provoqués par des variations d'intensité du rayonnement solaire qui atteint la terre - c'est-à-dire, par un forçage solaire naturel - ou s'ils ont été occasionnés par des variations dans les concentrations d'aérosol et de nuages qui affectent la quantité de lumière solaire qui atteint la surface de la terre.

Des améliorations récentes dans les sources et analyses de données montrent que c'est la deuxième hypothèse qui semble être exacte. Tout d'abord, des données obtenues à l'aide des satellites et d'autres méthodes, utilisées pour mesurer l'intensité du rayonnement solaire qui atteint le sommet de l'atmosphère, suggèrent qu'il y a eu peu de changements au cours des 50 dernières années. Ensuite, des analyses exhaustives de données sur le rayonnement de surface ont été effectuées récemment en utilisant un réseau de stations plus grand que celui dont on s'était servi dans le cadre des études antérieures. Ces analyses montrent que les tendances du rayonnement solaire de surface sont principalement associées aux stations qui se trouvent près des grandes agglomérations urbaines et qu'elles sont beaucoup moins apparentes, voire absentes, dans les stations rurales. De plus, les données satellitaires donnent aussi à penser que la réduction de la couverture nuageuse peut être un facteur qui explique « l'éclaircissement » qui s'est produit récemment. Par conséquent, les effets d'assombrissement et d'éclaircissement globaux semblent être une conséquence soit de la pollution atmosphérique et/ou de la variabilité à long terme des nuages, plutôt qu'un forçage direct du climat. Comme il est mentionné au point B.9, les taux changeants de concentrations des aérosols, en plus d'avoir une incidence sur la qualité de l'air local, ont compensé en partie l'effet de serre plus fort qui s'est fait sentir au cours du siècle dernier. Cependant, leur importance en tant que forçage du climat devrait devenir graduellement moindre par rapport aux projections de futures concentrations des gaz à effet de serre.

Référence : Trenberth et coll., 2007.

B.11 Comment l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique et le changement climatique peuvent-ils influencer l'un sur l'autre?

Réponse : Bien que l'appauvrissement de l'O₃ stratosphérique et le changement climatique soient des questions atmosphériques différentes, elles sont reliées de bon nombre de façons. Premièrement, l'appauvrissement de l'O₃ stratosphérique est une source de préoccupation, principalement parce qu'il est lié aux changements de la couche d'ozone et à l'augmentation de la quantité de rayonnement ultraviolet dangereux qui atteint la surface terrestre. Cependant, parce que l'O₃ absorbe la radiation solaire et est aussi un gaz à effet de serre, des changements dans sa concentration affecte aussi le bilan énergétique de la terre, et donc du climat. L'appauvrissement de l'O₃ dans la stratosphère entraîne un forçage négatif, donc un effet de refroidissement sur le climat. L'envergure de ce refroidissement au cours des dernières décennies est faible, mais assez pour compenser environ 2 % de l'effet de réchauffement induit par l'augmentation des autres gaz à effet de serre bien mélangés. Deuxièmement, le changement climatique peut affecter l'appauvrissement de la couche d'O₃, car l'intensification de l'effet de serre entraîne le refroidissement de la stratosphère et affecte donc la chimie de l'O₃ à cette altitude. Des spécialistes prévoient que le changement climatique futur retardera le rétablissement de la couche d'ozone dans les régions polaires de la terre, qui est attendu en réponse à la mise en œuvre du Protocole de Montréal. Enfin, les halocarbures qui contribuent à l'appauvrissement de l'O₃ stratosphérique sont aussi des gaz à effet de serre puissants. Dans l'ensemble, ils ont contribué historiquement au forçage du climat par gaz à effet de serre pour environ 10 %. Bien que les mesures prises dans le cadre du Protocole de Montréal aient désormais atténué l'augmentation de leurs concentrations dans l'atmosphère, certains des gaz utilisés par l'industrie pour remplacer les CFC sont aussi des gaz à effets de serre importants et sont donc préoccupants.

Explication : Le rayonnement ultraviolet C à haute fréquence en provenance du soleil, brise et sépare les molécules d'oxygène dans la stratosphère, ce qui forme de l'O₃ et relâche de la chaleur. Une fois formée, l'O₃ stratosphérique absorbe le rayonnement solaire ultraviolet B, ce qui contribue à réchauffer encore

plus l'atmosphère à ce niveau. Une diminution de l'O₃ stratosphérique refroidit donc la stratosphère (à cause d'une absorption moindre du rayonnement solaire entrant) et augmente la quantité de rayonnement ultraviolet qui entre dans la troposphère et atteint la surface de la terre. L'augmentation du rayonnement ultraviolet au niveau de la surface de la terre est une préoccupation environnementale, principalement en raison de ses effets relatifs sur la santé humaine, tels que le cancer de la peau, du risque accru de danger pour le biote et des dommages qu'il cause aux matériaux.

Toutefois, l'O₃ stratosphérique est aussi un gaz à effet de serre. Donc, la réduction de l'O₃ dans la stratosphère veut aussi dire moins d'absorption du rayonnement à ondes longues (infrarouge) en provenance de la surface de la terre, ce qui contribue au refroidissement de la stratosphère. L'effet net de l'appauvrissement de l'O₃ stratosphérique sur l'équilibre du rayonnement net global s'est traduit, au cours des dernières décennies, par un très faible effet de refroidissement – estimé à environ -0,05 W/m². Cela compense à peine environ 2 % du forçage positif induit par les gaz à effet de serre bien mélangés depuis les périodes préindustrielles.

On s'attend à ce que la diminution des produits chimiques appauvrissant la couche d'O₃ présents dans l'atmosphère, à la suite de l'action de réduction internationale dans le cadre du Protocole de Montréal, permette le rétablissement graduel de la couche d'ozone au cours des 50 prochaines années. Cela dit, les températures de la stratosphère occupent également une place importante en ce qui a trait à la chimie de l'O₃. À cet effet, il y a des inquiétudes à savoir comment les augmentations des concentrations des gaz à effet de serre vont affecter le rétablissement de la couche d'ozone. Alors que des augmentations des concentrations des gaz à effet de serre bien mélangés réchauffent la basse atmosphère, elles contribuent aussi au refroidissement de la stratosphère, étant donné que plus de chaleur est retenue dans la troposphère, au lieu d'aller réchauffer la stratosphère. Il est d'ailleurs reconnu que le refroidissement de la stratosphère est due de façon égale à la perte d'O₃ et à l'augmentation des gaz à effet de serre. Ce refroidissement général de la stratosphère, dû aux augmentations dans les concentrations de gaz à effet de serre bien mélangés, devrait diminuer le taux de destruction de l'O₃ en phase gazeuse dans une grande partie de la stratosphère et donc aider au rétablissement de la couche d'O₃. Par contre, dans les régions polaires pendant l'hiver, les températures froides de la stratosphère peuvent entraîner la formation de nuages stratosphériques polaires qui intensifient le taux d'appauvrissement de l'O₃. Dans les régions polaires, l'intensification du refroidissement de la stratosphère pourrait faire augmenter les risques d'appauvrissement de l'O₃.

Enfin, les halocarbures qui occasionnent l'appauvrissement de l'O₃ (CFC, HCFC et autres gaz) sont aussi des gaz à effet de serre puissants. En effet, une molécule d'halocarbure peut être des milliers de fois plus efficace qu'une molécule de CO₂ pour absorber l'énergie rayonnante émise par la terre. Bien que les concentrations d'halocarbures soient beaucoup plus faibles que celles des principaux gaz à effet de serre, leurs augmentations au cours de la période allant de 1750 à 2000 ont entraîné un forçage radiatif positif et direct d'environ 0,34 W/m², soit approximativement 13 % du forçage radiatif total à ce jour des gaz à effet de serre bien mélangés. Les actions prises en application du Protocole de Montréal ont mené au remplacement des CFC par des HCFC, des HFC et d'autres substances. Comme les HCFC ont un potentiel relativement élevé d'appauvrissement de la couche d'O₃ et de réchauffement planétaire, les Parties au Protocole de Montréal ont décidé, en septembre 2007, d'accélérer le retrait progressif de la production et de l'utilisation des HCFC d'une pleine décennie, dans un effort pour réduire leur impact sur la couche d'ozone et combattre le réchauffement planétaire. Étant donné que les substances qui remplacent les CFC sont généralement moins puissantes comme gaz à effet de serre, et puisque le total des émissions d'halocarbures a diminué, l'effet combiné des émissions annuelles de tous ces gaz sur le forçage radiatif entre 1990 et 2000 a diminué des deux tiers.

Références : Fergusson, 2001; Baldwin et Dameris, 2007.

B.12

Quelles autres activités anthropiques influencent le climat?

Réponse :

Les humains influencent aussi le climat en modifiant la réflectivité de la surface de la terre par des activités comme le changement d'utilisation des terres (globalement, un léger effet de refroidissement net) et la production de trainées de condensation de vapeur d'eau persistantes produites par les tuyaux d'échappement des aéronefs (entraînant un léger effet de réchauffement). On croit que ces effets sont relativement faibles en comparaison de l'action des gaz à effet de serre.

Explication : Le déboisement, le reboisement, la désertification, la culture du sol et l'urbanisation sont autant d'activités humaines pouvant influencer sur les caractéristiques de la surface terrestre, tout particulièrement sur son albédo (c'est-à-dire sa capacité de réfléchir la lumière solaire vers l'espace). Les effets de l'albédo sont complexes et dépendent de l'emplacement et de la période de l'année. Par exemple, le remplacement des forêts des latitudes moyennes par des champs agricoles peut diminuer l'albédo au printemps et à l'automne (lorsque les sols nus qui sont plus foncés que la voûte forestière originale sont exposés au soleil), mais l'accroître en hiver (quand les champs sont recouverts de neige, dont l'effet est plus brillant que celui de la voûte forestière originale). Selon les études, ces effets peuvent avoir des répercussions locales importantes sur le climat. Cependant, des analyses effectuées récemment donnent à penser que l'effet net global est moins prononcé que celui des anciens changements dans les concentrations des gaz à effet de serre, d'autant plus que la surface touchée est relativement restreinte par rapport à la surface totale de la terre. Dans son évaluation la plus récente, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) estime qu'il y a eu un refroidissement global net par rapport aux périodes préindustrielles, en raison de ces effets d'albédo, de quelque 0 à $-0,4 \text{ W/m}^2$. Des traînées de condensation produites par les avions jouent également un rôle complexe en absorbant à la fois le rayonnement solaire entrant et le rayonnement infrarouge sortant. On calcule que l'effet net, à l'échelle planétaire, est un forçage de réchauffement très faible d'environ $0,01 \text{ W/m}^2$, comparé à celui des périodes préindustrielles.

Référence : Forster et coll., 2007.

B.13 Quel est l'effet net, sur notre climat, de l'ensemble des activités humaines réalisées par le passé?

Réponse : Les spécialistes sont convaincus que l'ensemble des activités humaines réalisées depuis 1750 apr. J.-C. ont eu pour effet moyen net une augmentation des températures à la surface de la terre. Toutefois, ils sont moins sûrs de connaître l'envergure exacte de cet effet de réchauffement. Les meilleures estimations donnent à penser que le forçage radiatif net est d'environ $1,6 \text{ W/m}^2$. Cet effet net tient compte à la fois des influences de réchauffement et de refroidissement sur le climat.

Explication : Tel qu'illustré dans la figure qui suit, les spécialistes sont particulièrement convaincus des répercussions radiatives globales nettes de l'augmentation des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre persistants. On estime que le CO_2 représente de $1,5$ à $1,8 \text{ W/m}^2$, alors que le CH_4 , le N_2O et les halocarbures semblent avoir contribué pour une autre tranche de $0,9$ à $1,1 \text{ W/m}^2$. Toutefois, l'effet net des autres activités humaines est loin d'être certain. Par exemple, l'effet de refroidissement net des concentrations croissantes d'aérosol, lorsque l'on considère à la fois les effets radiatifs directs et ceux indirects liés aux changements des propriétés des nuages, pourrait être aussi fort que $-2,7 \text{ W/m}^2$ et aussi faible que $-0,4 \text{ W/m}^2$. De même, les estimations du réchauffement dû aux concentrations croissantes d' O_3 dans la troposphère varient de $0,25$ à $0,65 \text{ W/m}^2$.

Les spécialistes sont toutefois persuadés qu'en regroupant toutes ces influences humaines, l'effet final obtenu est un effet de réchauffement. La meilleure estimation du forçage radiatif positif pouvant entraîner ce réchauffement est établie à environ $1,6 \text{ W/m}^2$. Cependant, celui-ci pourrait être aussi bas que $0,6 \text{ W/m}^2$ ou aussi élevé que $2,4 \text{ W/m}^2$.

Référence : Forster et coll., 2007.

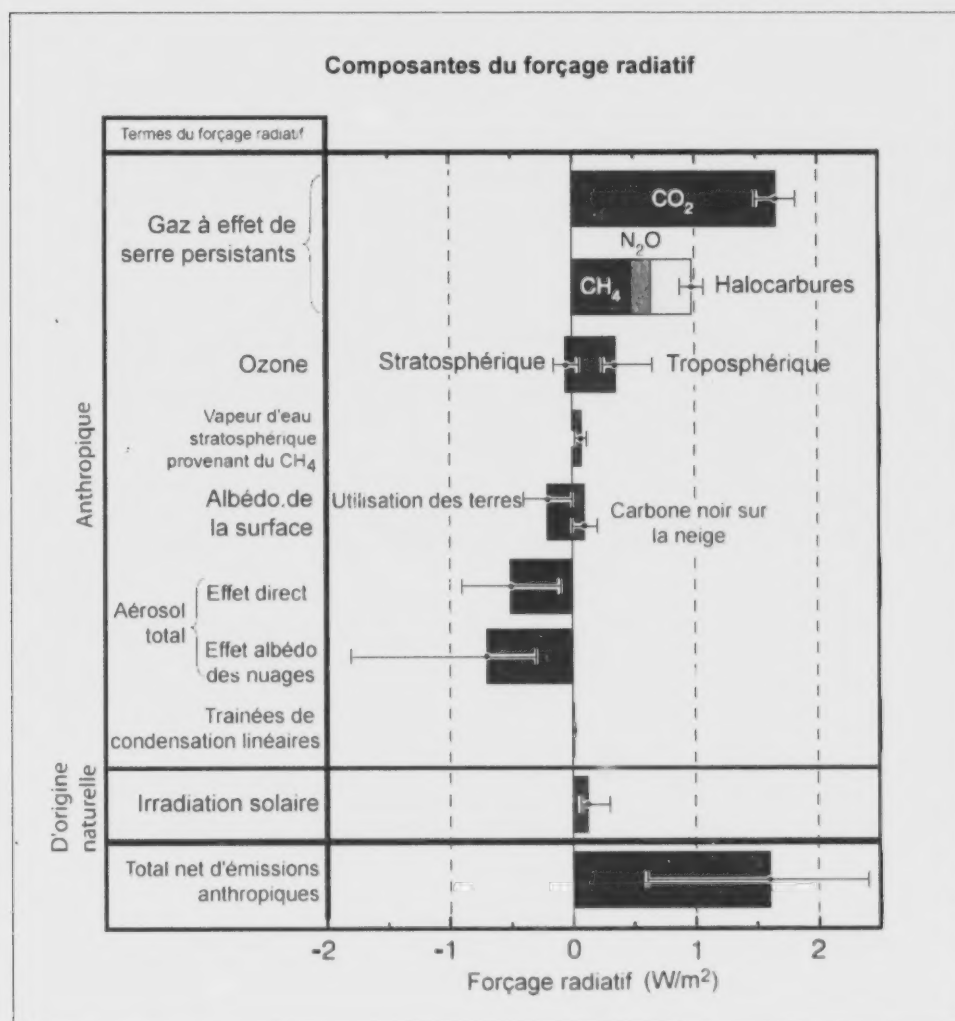


Figure B.13. Ampleur de plusieurs types de forçage anthropique (produit par les hommes) du climat en 2005, relativement aux conditions préindustrielles. La donnée sur le forçage solaire pour la même période est aussi incluse aux fins de comparaison. Les forçages positifs amènent un réchauffement et, les forçages négatifs à un refroidissement. La mince ligne noire rattachée à chaque barre colorée représente la fourchette d'incertitude de chaque valeur (Tiré de la figure SPM 2, GIEC 2007a).

C. Détection et attribution du changement climatique

C.1 Le monde s'est-il réchauffé?

Réponse : Oui, sans aucun doute possible. Pendant la période de 100 années qui va de 1906 à 2005, les températures moyennes globales ont augmenté d'environ 0,74 °C. Il existe également bon nombre d'autres indicateurs qui révèlent que le monde se réchauffe. Parmi ces indicateurs, on compte le réchauffement de la basse atmosphère et des couches supérieures des océans du monde, les températures croissantes des sols terrestres, la fonte des glaciers de montagne, le recul de la glace de mer et du couvert de neige, la hausse des niveaux des océans et des modifications dans la distribution de nombreuses espèces végétales et animales (voir figure C.1).

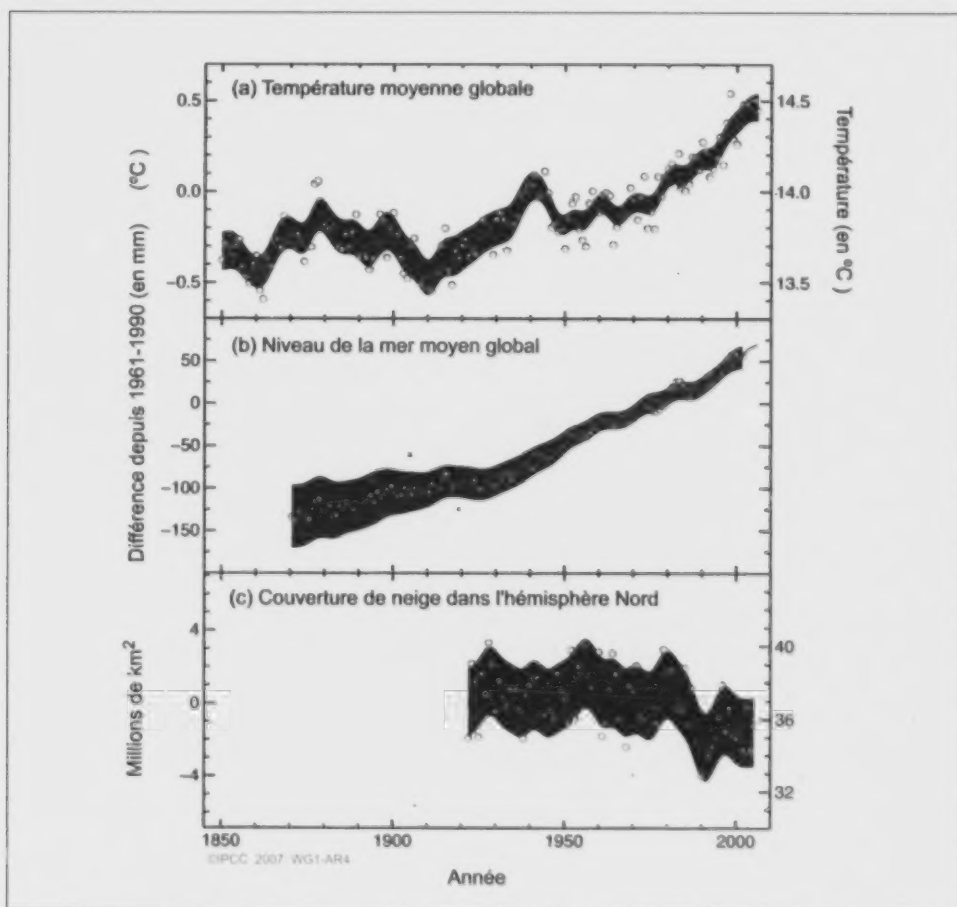


Figure C.1. Des relevés de la température globale de surface, ajustés pour les biais dus à l'évolution des pratiques d'observation et aux influences telles que l'urbanisation, montrent que les dernières décennies ont des températures nettement plus chaudes qu'il y a un siècle. De plus, le taux de réchauffement semble s'accroître. Les niveaux de la mer sont aussi plus élevés, tandis que la couverture de neige de l'hémisphère Nord est en décroissance (Tiré de la figure SPM.3, GIEC, 2007a).

Explication : Les experts en analyse des tendances de la température planétaire ont déclaré que, pendant la période de 100 ans se terminant en 2005, la température globale moyenne à la surface de la terre a augmenté d'au moins 0,56 °C et probablement d'autant que 0,92 °C, la meilleure estimation étant de 0,74 °C. La tendance linéaire pour les 50 dernières années, indiquée dans ce relevé, est d'environ 0,13 °C par décennie, soit environ le double de celle de la période de 100 ans dans sa totalité. Onze des 12 années entre 1995 et 2006 se sont révélées les plus chaudes ayant été enregistrées depuis le début des relevés instrumentaux globaux, il y a quelques 150 années.

Il importe de souligner, cependant, que ces tendances concernent le réchauffement moyen à la surface de la terre. Dans certaines régions, tout particulièrement sur les continents, l'ampleur du réchauffement a dépassé de plusieurs fois la moyenne globale. Au Canada, par exemple, il y a eu une augmentation de la température annuelle moyenne d'environ 1,4 °C dans la période allant de 1948 à 2007. D'un autre côté, dans quelques rares régions du monde, les températures ont plutôt diminué.

Diverses autres variables climatiques prouvent aussi l'existence du réchauffement du climat : un réchauffement des 6 km inférieurs de l'atmosphère semblable au réchauffement de la surface; une augmentation des températures moyennes des océans jusqu'à une profondeur de 3 000 m; une réduction de 5 % de la surface de la couverture de neige printanière dans l'hémisphère Nord depuis la fin des années 1960; une réduction simultanée dans l'hémisphère Nord des saisons relatives à la couche de glace des lacs; une réduction de la couche de glace de mer dans l'Arctique depuis les années 70 d'environ 8 % et une forte réduction de son épaisseur; une hausse de 8 cm du niveau global des mers depuis 1960; une augmentation du contenu thermique global des sols de la terre, de sa cryosphère et de ses océans, depuis le début des mesures adéquates au cours des années 1950; une diminution de la fréquence des jours froids et des nuits froides ; et une augmentation de la fréquence des jours chauds et des nuits chaudes ainsi que des vagues de chaleur, depuis les années 1950.

Références : Trenberth et coll., 2007; Lemke et coll., 2007; Environnement Canada, 2008.

C.2 Comment les relevés de température planétaire moyenne sont-ils élaborés?

Réponse : Les relevés pour la température globale moyenne à la surface de la terre se fondent sur les données recueillies au cours des 150 dernières années à des milliers de stations météorologiques et climatiques terrestres autour du monde, à partir de navires dans les océans ou, plus récemment, au moyen de bouées de collecte de données océaniques. La moyenne de ces données a été soigneusement calculée sur toute la planète de façon à éviter les biais vers les régions disposant d'une forte concentration de données. Bien que la couverture de quelques régions du monde a été moindre ou nulle au début de la période de relevés et, d'autre part, qu'il existe bon nombre d'autres problèmes associés à l'utilisation de ces données pour évaluer les tendances de température globales, des spécialistes ont travaillé pendant de nombreuses décennies à mieux comprendre ces questions.

Explication : Des données sur les températures quotidiennes ont été enregistrées à des milliers de stations météorologiques et climatiques du monde pour une bonne partie du siècle dernier, et bon nombre des relevés fournis par ces stations remontent jusqu'à l'année 1850 et à des années antérieures. Ces températures ont été prises à une hauteur d'environ un mètre au-dessus de la surface terrestre. De plus, des membres d'équipage des navires traversant les océans du monde ont pris quotidiennement les températures aussi bien des eaux de surface des océans que de l'air au niveau des ponts des navires. Bon nombre de ces relevés, tout particulièrement ceux pris au 19^e siècle, ont été consignés à partir des navires militaires britanniques. Plus récemment, les bouées de collecte de données océaniques ont aussi fourni des données supplémentaires. Plusieurs équipes de spécialistes au sein de la communauté internationale de chercheurs ont investi des efforts considérables dans l'élaboration d'un portrait complet de l'évolution des températures de surface moyennes mondiales à partir de ces données. Pour ce faire, ils doivent concevoir des techniques statistiques afin de calculer correctement les moyennes des données, d'aborder d'importants manques de données et de corriger les autres problèmes relatifs à la façon dont les données ont été recueillies. Étant donné que ces groupes utilisent des techniques différentes, les résultats diffèrent légèrement. Toutefois, cela contribue aussi à augmenter la confiance qu'inspirent les résultats obtenus.

Les corrections et ajustements qui doivent être faits aux données sont considérables. Par exemple, la profusion de données de bonne qualité est généralement nettement supérieure dans le sud du Canada, aux États-Unis et en Europe occidentale, que dans de nombreuses autres régions du monde, surtout au 19^e siècle. Les données sur certaines régions du monde, telles que l'Afrique et l'Antarctique, sont sporadiques, même aujourd'hui. Les méthodes pour développer les tendances planétaires de températures doivent adresser ce déséquilibre géographique des données. Des spécialistes examinent aussi les données dans le but de retirer les stations qui ne sont pas fiables. Cela inclut des stations situées dans les agglomérations urbaines qui ont été influencées par l'effet de l'urbanisation sur les températures locales. En outre ils ajustent les données, si cela est possible, pour tenir compte des influences attribuables aux changements dans les méthodes d'enregistrement ou dans l'emplacement de la station.

Afin de calculer la moyenne des données sélectionnées, les spécialistes divisent la surface terrestre en une grille comportant des régions de taille identique, et développent un enregistrement combiné pour chacune d'entre elles en appliquant des techniques avancées leur permettant de calculer la moyenne des données disponibles, lorsqu'il y a plusieurs relevés, à l'intérieur de la région en question. S'il n'y a pas de données dans une région de la grille, la méthode permet d'interpoler à partir des régions adjacentes de la grille. Les spécialistes continuent à apporter des améliorations à leurs méthodologies et les mettent à l'essai en utilisant d'autres sources de données afin de déterminer l'ampleur de leur réussite. Des incertitudes continuent d'être associées aux analyses des tendances issues de ces compilations de données. Néanmoins, en ce qui concerne le siècle dernier, elles se limitent en gros à environ $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$.

References: Folland et coll., 2001; Trenberth et coll., 2007.

C.3

Est-ce que les relevés de température sont fiables?

Réponse :

Oui, les données utilisées pour calculer les tendances de la température globale fournissent une bonne indication de l'évolution de notre climat. Tel qu'il est indiqué pour un usage approprié de données à partir des programmes de surveillance, les données climatiques employées pour évaluer les tendances de la température globale sont d'abord soumises à des procédures de contrôle de la qualité et font l'objet d'évaluations visant à cerner des sources systématiques d'erreur. En plus de supprimer les relevés contenant de graves erreurs ou des influences non climatiques et de corriger les autres où les erreurs sont faciles à déceler, les climatologues comparent aussi les relevés climatiques instrumentaux avec des relevés provenant d'autres sources. Pour tenir compte des autres facteurs non climatiques touchant ces relevés, les spécialistes prévoient une marge d'erreur dans leurs estimations. Ils affirment avec une grande confiance que la température globale moyenne à la surface de la terre a augmenté d'au moins $0,56^{\circ}\text{C}$ et pas plus de $0,92^{\circ}\text{C}$ au cours de la période 1906-2005.

Explication :

Une méthode employée pour supprimer les erreurs aléatoires, qui se produisent dans des stations individuelles, consiste à établir la moyenne des valeurs de température sur de nombreuses stations. Les analyses de la température globale utilisent plusieurs milliers de stations, de sorte que l'établissement de la moyenne estompe les erreurs aléatoires. Les changements systématiques non liés au climat, mais susceptibles d'avoir une influence simultanée sur plusieurs ou l'ensemble des relevés sont plus difficiles à éliminer. Ils incluent des changements attribuables aux effets de l'îlot de chaleur urbain, aux changements majeurs d'instrumentation, à une modification de la densité des stations enregistreuses ou au déplacement systématique des instruments dans les stations météorologiques. Ces problèmes peuvent au moins être partiellement abordés à l'aide d'analyses et d'ajustements soignés. En analysant les tendances planétaires, les climatologues ont soigneusement tenu compte de plusieurs influences systématiques de ce genre, y compris l'effet de l'îlot de chaleur (voir la figure C.3), les nouvelles techniques d'observation à bord de navires, ainsi que d'autres influences non climatiques exercées sur les observations. Il reste des preuves solides que le réchauffement survenu au cours des récentes décennies est authentique et planétaire. En outre, les relevés de température en surface concordent avec la tendance à long terme manifestée dans les mesures par radiosonde et dans les données satellitaires, qui ont été recueillies dans les premiers 6 km inférieurs de l'atmosphère au cours des dernières décennies. Ils concordent également avec les preuves fournies par les anneaux de croissance des arbres et avec les renseignements obtenus à partir des trous de forage

pratiqués dans la surface terrestre, dans différentes parties du monde. Enfin, ils concordent aussi avec des phénomènes simultanés comme la réduction du manteau nival, le recul des glaciers et d'autres indicateurs d'un monde en réchauffement. Cependant, à cause de la distribution inégale des sites d'observation sur la terre, les relevés climatiques sont encore dominés par des données terrestres obtenues dans l'hémisphère Nord. Compte tenu de ces incertitudes, la communauté scientifique estime que la surface de la terre s'est, en moyenne, réchauffée de $0,74 \pm 0,18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ au cours des 100 dernières années.

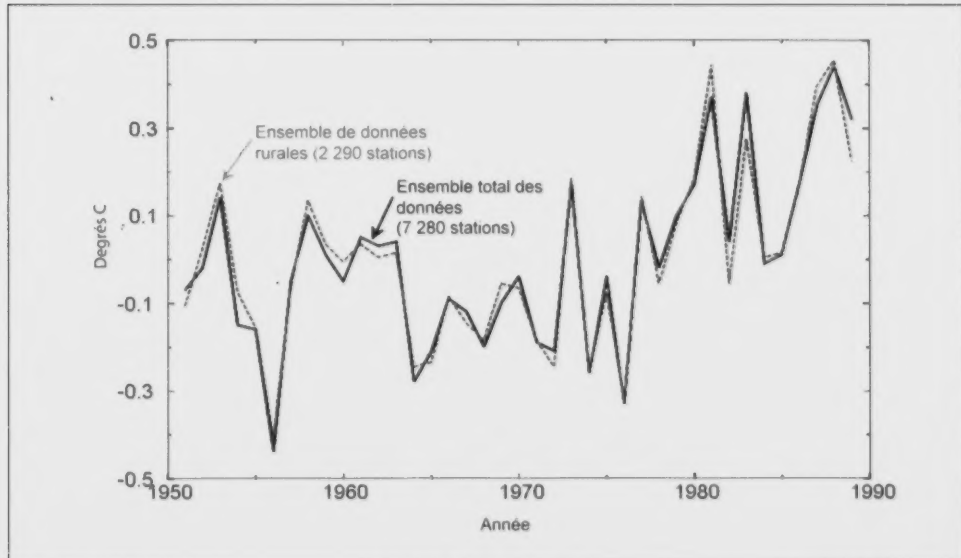


Figure C.3. Une comparaison entre les tendances de la température provenant de l'ensemble de la base de données terrestres entièrement corrigées, utilisées pour l'analyse des tendances de la température globale, ainsi qu'un sous-ensemble de stations météorologiques rurales, suggère qu'il subsiste très peu d'effet résiduel de l'urbanisation dans les données (Peterson et coll., 1999).

C.4 Dans quelle mesure le réchauffement connu récemment a-t-il été inhabituel?

Réponse : Bien que le réchauffement planétaire moyen de $0,74 \text{ }^{\circ}\text{C}$ observé au cours des 100 dernières années semble modeste, son importance peut être évaluée en fonction des reconstructions des climats à la surface de la terre au cours des siècles voire des millénaires antérieurs. De telles comparaisons montrent que, du moins pour l'hémisphère Nord, la seconde moitié du 20^e siècle a probablement été la période de 50 ans la plus chaude des 1300 dernières années. De plus, des études à partir de modèles climatiques montrent qu'il est très difficile de reproduire les tendances climatiques du millénaire dernier sans tenir compte du rôle des forçages anthropiques sur le climat.

Explication : Des chercheurs ont recueilli indirectement de l'information sur les climats passés à partir de divers indicateurs tels que les anneaux de croissance des arbres, les carottes de glace et les coraux océaniques. Examinés individuellement, ces indicateurs ne fournissent des renseignements que sur certains aspects du climat dans l'hémisphère. Les anneaux de croissances des arbres, par exemple, offrent des indications utiles sur les températures moyennes pendant les saisons de croissance dans les latitudes moyennes, ou des changements de précipitation dans les régions arides. Les carottes de glace fournissent des renseignements sur les températures des régions froides, alors que les coraux océaniques peuvent servir à reconstruire les températures des climats des océans tropicaux. Toutefois, des analystes peuvent employer des techniques statistiques pour combiner diverses sources d'information en vue de créer une unique reconstruction de température pour l'hémisphère. On ne s'entend toujours pas au sujet de la fiabilité de ces reconstructions du climat; on parle sou-

vent du débat sur « le bâton de hockey » étant donné que les reconstructions montrent une période de mille ans relativement stable (le manche) suivi d'un réchauffement rapide au 20^e siècle (la lame). Toutefois, des évaluations récemment effectuées par des équipes de spécialistes permettent de conclure que, au moins dans l'hémisphère Nord (HN), la deuxième moitié du 20^e siècle a été vraisemblablement la plus chaude des 500 dernières années, et probablement des 1300 dernières années.

Les simulations des paléoclimats à partir de modèles concordent de façon générale avec les reconstructions des températures dans l'hémisphère Nord au cours des 1000 dernières années. Ces simulations montrent également que, *très probablement*, la hausse des températures de surface depuis 1950 ne peut être reconstruite sans inclure les gaz à effet de serre anthropiques dans les forçages du climat⁵ employés dans le modèle. De plus, il est *très improbable* que ce réchauffement ait simplement été un signe de rétablissement face à une période froide antérieure au 20^e siècle. Des conclusions semblables au sujet de l'hémisphère Sud inspirent moins de confiance, puisque les données sur cette région sont très éparées.

Références : National Research Council, 2006; Jansen et coll., 2007.

⁵ Voir le point A.2 pour la description du forçage du climat.

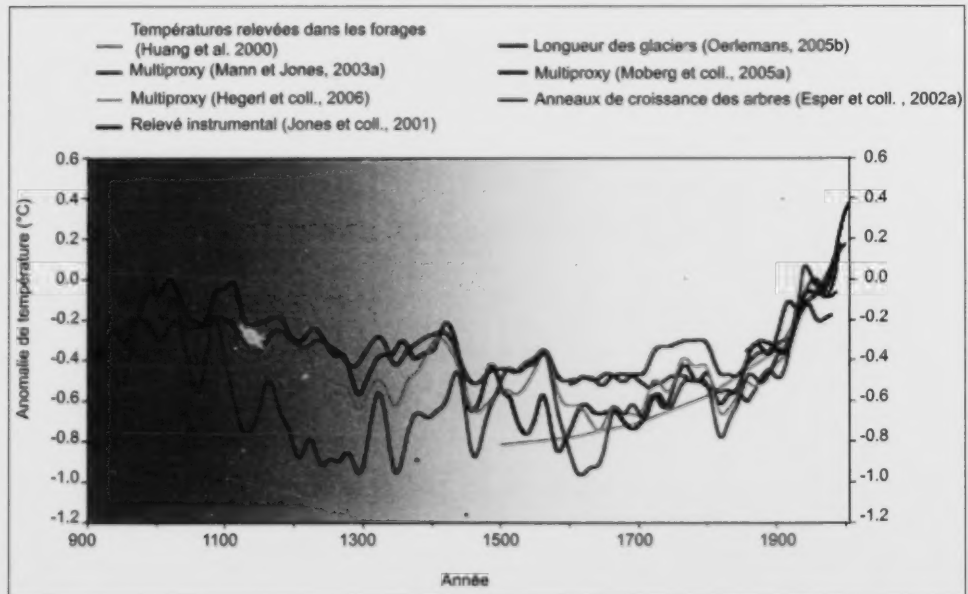


Figure C.4. Des données provenant de divers indicateurs substitutifs de température d'époque, y compris les anneaux de croissance des arbres, les carottes de glace et les coraux, ont été employées dans le cadre de diverses études pour reconstruire les températures de l'hémisphère Nord au cours des derniers millénaires. Malgré la divergence d'opinions au sujet de l'ampleur des fluctuations de température dans l'hémisphère Nord avant le 20^e siècle, ces études ainsi que d'autres éléments montrent que le réchauffement de la fin du 20^e siècle est sans précédent au moins dans le cadre du dernier millénaire (Figure S.1, National Research Council, 2006).

C.5

Comment les scientifiques examinent-ils la question des causes du réchauffement?

Réponse :

Depuis de nombreuses années, les scientifiques évaluent les causes possibles du changement climatique. Elles comprennent le rayonnement solaire, l'effet des éruptions volcaniques sur le climat et le rôle des gaz à effet de serre et des aérosols rejetés par les humains dans l'atmosphère. Les chercheurs ont pu reconstruire, avec des degrés de confiance variables, la façon dont ces différentes forces influant sur le changement climatique ont évolué au cours des décennies et des siècles derniers. Les modèles climatiques sont ensuite employés pour simuler la façon dont les différents facteurs de forçage du climat auraient dû affecter le climat planétaire dans l'espace et au fil du

temps. En comparant la réponse attendue du climat aux différents forçages du climat qui se sont réellement produits, les chercheurs peuvent déterminer les causes des changements climatiques globaux, y compris le plus récent réchauffement, avec un bon degré de confiance. La conclusion de ces travaux est que la plus grande partie du réchauffement observé au cours des 50 dernières années résulte des influences humaines. Toutefois, il est beaucoup plus difficile d'imputer les causes aux variations qui se produisent à l'échelle régionale, où la variabilité naturelle du climat devient plus importante.

Explication : Tout ce qui produit un changement persistant dans le bilan radiatif entre le rayonnement solaire incident (entrant) et le rayonnement infrarouge sortant au sommet de l'atmosphère est fondamentalement une force qui occasionne un changement dans le climat de la terre, d'où le terme forçage du climat. Il y a quatre grandes catégories de forçage du climat qui agissent dans des échelles de temps pertinentes pour la durée de vie humaine : i) des variations dans le rayonnement solaire au sommet de l'atmosphère; ii) des variations dans les concentrations des aérosols et des particules dans les nuages qui sont présents dans l'atmosphère, qui réfléchissent et dispersent le rayonnement solaire incident en le renvoyant vers l'espace et qui absorbent l'énergie thermique sortante ; iii) des variations de la surface de la terre qui affectent à la fois la quantité de rayonnement solaire incident qui est réfléchi à la surface vers l'espace, ainsi que la quantité d'énergie thermique dégagée par la surface vers l'espace et iv) des variations dans la concentration des gaz à effet de serre qui absorbent et retiennent l'énergie thermique dégagée.

Les chercheurs se sont servis des anneaux de croissance des arbres, des carottes de glace et d'autres indicateurs substitutifs en vue de reconstruire les changements survenus par le passé dans la plupart des forçages clés du climat, y compris ceux induits par le rayonnement solaire, par des changements dans les concentrations d'aérosol volcanique dans l'atmosphère et, par des changements, dans l'atmosphère, des concentrations des gaz à effet de serre et aérosols générés de façon anthropique. Cependant, les répercussions de ces variations des forçages sur le climat impliquent bon nombre de rétroactions complexes dans le système climatique, qui exigent les modèles climatiques les plus sophistiqués afin d'assurer l'efficacité de la simulation. Ces simulations peuvent estimer les patrons de changement, sur la verticale, sur l'horizontale et avec le temps, pouvant être attendues pour chacun des forçages individuellement, ou pour une combinaison de divers forçages. En comparant les résultats de ces simulations aux changements observés, les spécialistes peuvent contribuer à déterminer la combinaison de facteurs qui, par exemple, a vraisemblablement occasionné le réchauffement à l'échelle planétaire au cours des dernières décennies. Les résultats montrent qu'il est impossible d'expliquer les tendances globales du dernier siècle si l'on ne tient compte que des forçages du climat d'origine naturelle. Cependant, ils concordent bien lorsqu'on prend en considération les forçages anthropiques (voir la figure C.5). En fait, les preuves appuient la conclusion que le réchauffement survenu pendant les 50 dernières années est en grande partie attribuable aux influences humaines. Des attributions similaires sont désormais disponibles à l'échelle continentale. Toutefois, en raison de la plus forte variabilité du climat à l'échelle régionale et, de la plus grande complexité des rétroactions régionales, il n'est pas encore possible, en règle générale, d'imputer les variations produites à cette échelle à des forçages planétaires particuliers.

Référence : Hegerl et coll., 2007.

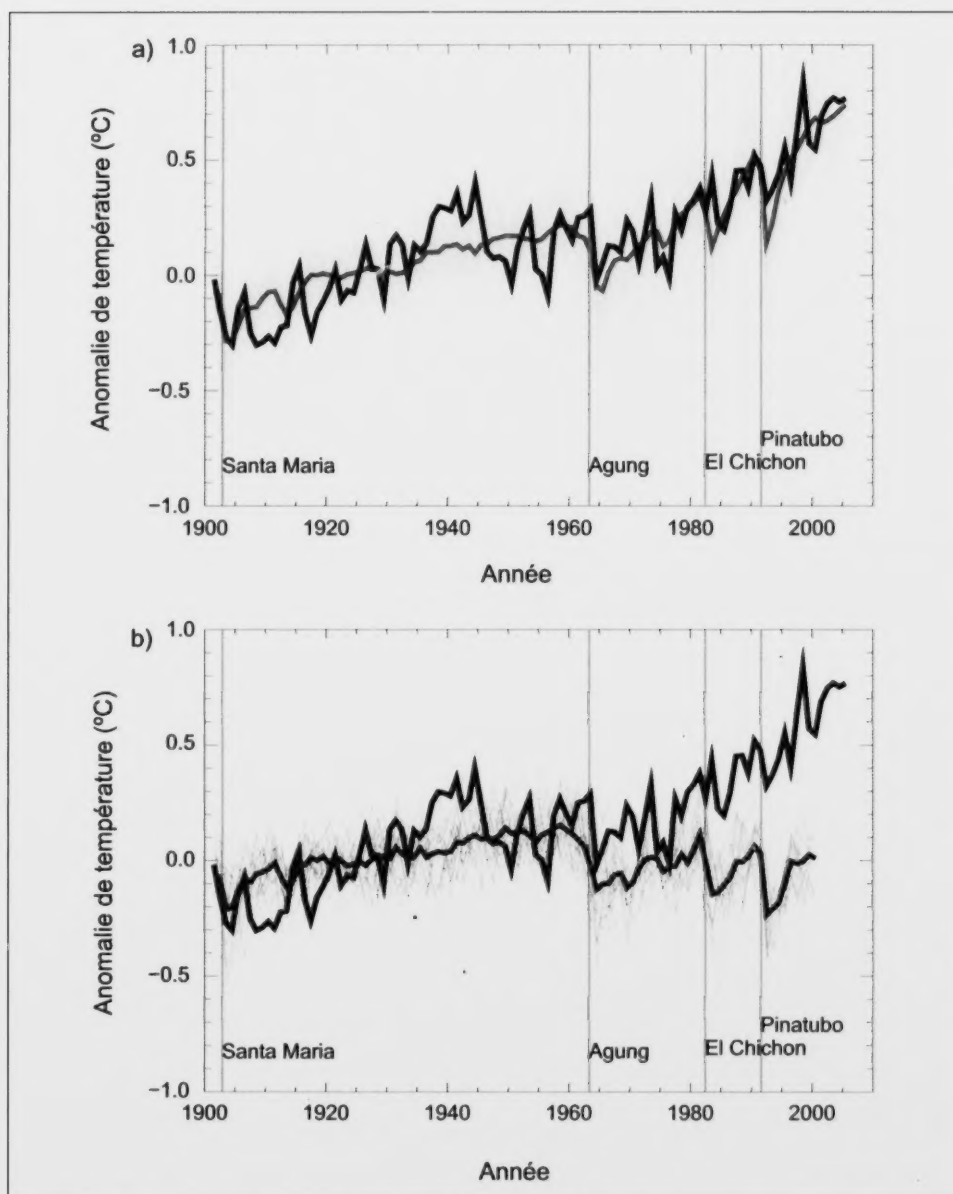


Figure C.5. Comparaison des anomalies de température de surface moyenne globale (changement de température relativement à la période 1901-1950) à partir d'observations (mince ligne noire) avec celles estimées au moyen de simulations par modèle climatique forcées : a) par des facteurs anthropiques et naturels et, b) par des influences uniquement naturelles. Les deux séries de résultats illustrent à quel point les modèles peuvent bien reproduire le changement climatique observé lorsqu'ils sont forcés avec la totalité des causes principales du changement, et à quel point cette reproduction peut être médiocre si sont uniquement inclus les forçages d'origine naturelle (Fig. 9.5, Hegerl et coll., 2007).

C.6

Est-ce que les variations du rayonnement cosmique provenant de l'espace pourraient avoir occasionné le réchauffement?

Réponse :

Non. Bien que certains spécialistes aient formulé l'hypothèse selon laquelle les variations dans le rayonnement cosmique pourraient modifier la couverture nuageuse mondiale et, par extension, les

températures de surface, les données d'observation sur la couverture nuageuse au cours des dernières décennies n'appuient pas cette théorie. Au cours de deux dernières décennies, alors que le réchauffement planétaire a été fort, la tendance de l'intensité du rayonnement cosmique a été dans la direction opposée à celle requise pour expliquer le réchauffement.

Explication : Le rayonnement cosmique est composé de particules d'énergie, telles que des protons et de noyaux atomiques minuscules, qui proviennent de l'espace et bombardent l'atmosphère terrestre. Une hypothèse a été émise selon laquelle des changements du rayonnement cosmique pourraient avoir eu une incidence prédominante sur le climat de la terre au cours des 500 derniers millions d'années. De plus, il a été suggéré que si de tels processus pouvaient affecter le climat sur des échelles de temps de plusieurs millions d'années, ils pourraient sans doute le faire à des échelles de temps centenaires. L'hypothèse est que le rayonnement cosmique peut ioniser les aérosols contenus dans l'atmosphère et donc affecter les processus de formation des nuages. Puisque les nuages ont généralement un effet de refroidissement sur le climat (en réfléchissant le rayonnement solaire), certains scientifiques ont émis l'hypothèse que lors de périodes où les niveaux de rayonnement cosmique sont élevés, plus de nuages se formeraient et la terre devrait se refroidir. À l'inverse, moins de rayons cosmiques devraient mener à une terre plus chaude. Cependant, les études réalisées à ce jour ne soutiennent pas cette hypothèse. Des analyses de données d'observation prises lors des récentes décennies ne montrent aucun rapport entre les fluctuations du rayonnement cosmique et le couvert de nuage planétaire. De plus, au cours des deux dernières décennies, il y a des preuves que les flux de rayonnement cosmique et les températures de surface ont tous les deux été en augmentation. C'est-à-dire que la tendance de l'intensité du rayonnement cosmique a été dans la direction opposée à celle requise pour expliquer la tendance à la hausse de la température. En fait, les variations de la température planétaire au cours du dernier siècle sont bien expliquées par des changements dans des facteurs anthropiques et naturels, en particulier les changements dans les concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols, dans le rayonnement solaire et dans les éruptions volcaniques (voir C.5).

Références : Rahmstorf et coll., 2004; Forster et coll., 2007. Lockwood and Frölich, 2007.

C.7 Les variations dans l'irradiation solaire ont-elles pu provoquer le réchauffement du siècle dernier?

Réponse : Les variations dans l'irradiation solaire expliquent en partie le réchauffement, tout particulièrement au début du 20^e siècle. Toutefois, l'ensoleillement moyen atteignant la terre n'a pas subi de changements significatifs au cours des 50 dernières années. C'est pourquoi il ne peut pas expliquer le réchauffement rapide qui est survenu durant les dernières décennies.

Explication : L'irradiation solaire connaît un cycle des taches solaires⁶ d'une durée approximative de 11 années, qui oscille entre des chiffres maximum et minimum de nombre de taches à la surface du soleil. Bien que ces cycles puissent constituer un facteur contribuant à la variabilité décennale du climat, ils ne peuvent cependant pas avoir une incidence considérable sur les tendances climatiques à long terme, à moins que la nature du cycle lui-même ne change. Il a été clairement montré que l'ampleur du cycle des taches solaires s'est élargie graduellement au cours des derniers siècles, et ce, jusqu'à environ l'année 1950. Les spécialistes en rayonnement estiment qu'au cours du dernier siècle, ceci a pu causer un léger déséquilibre positif (réchauffement) dans le bilan du rayonnement au sommet de l'atmosphère, d'au plus quelques dixièmes d'un W/m², soit environ 10 % du réchauffement induit par l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre (voir les figures B.13 et C.8). Cependant, bien que ce forçage ait varié au cours des 50 dernières années, en diminuant puis en augmentant, sa moyenne à long terme pendant cette période s'est très peu modifiée. Par conséquent, il n'est pas considéré comme un facteur déterminant ayant contribué au réchauffement rapide survenu au cours des dernières décennies.

Références : Hansen et coll., 2005; Forster et coll., 2007.

⁶ Une tache solaire est une région à la surface du soleil qui est marquée par une température moins élevée et qui paraît plus sombre que les zones avoisinantes.

C.8

Quel est le rôle des volcans dans le réchauffement survenu récemment?

Réponse : Les éruptions volcaniques rejettent périodiquement des aérosols dans la stratosphère, où ils peuvent demeurer quelques années. Cela se traduit par un effet de refroidissement à court terme sur le climat car ces aérosols réfléchissent la lumière solaire. Les concentrations moyennes de ces aérosols peuvent aussi varier sur de longues périodes, car la fréquence et l'intensité des éruptions volcaniques changent au fil du temps. Ainsi, les aérosols volcaniques peuvent aussi constituer un forçage du climat à long terme. Lorsque les concentrations moyennes augmentent au dessus de la moyenne à long terme, ce forçage provoque un refroidissement (en raison de la réflexion accrue de la lumière solaire). Par contre, un effet de réchauffement se produit lorsqu'elles diminuent en dessous de la moyenne à long terme (étant donné que la réflexion de lumière solaire est désormais inférieure à la normale). Une telle diminution s'est produite entre les années 1900 et 1950, contribuant ainsi probablement au réchauffement de la planète au début du 20^e siècle. Toutefois, l'augmentation du nombre d'éruptions volcaniques de grande envergure, constatées au cours des dernières décennies, a renversé cette tendance. Ainsi, bien que ces éruptions aient affecté considérablement les climats planétaires pendant de courtes périodes, elles ne peuvent pas expliquer la tendance au réchauffement récent. Au contraire, la hausse dans les concentrations d'aérosol volcanique au cours des dernières décennies aurait plutôt dû déclencher une tendance au refroidissement.

Explication : Les gaz sulfureux rejetés par les éruptions volcaniques d'envergure peuvent provoquer une augmentation dramatique des concentrations d'aérosols sulfatés dans la stratosphère, où ils réfléchissent la lumière solaire en la renvoyant vers l'espace. Ce phénomène peut avoir un effet de refroidissement prononcé et abrupt sur les températures à la surface de la planète. Pour toute éruption, le refroidissement dure peu, puisque ces aérosols ne demeurent dans l'atmosphère que pendant quelques années avant de retomber sur la surface terrestre. Toutefois, pendant les périodes caractérisées par des éruptions d'envergure fréquentes, les concentrations moyennes de ces aérosols (et donc l'influence de refroidissement) sont plus élevées qu'au cours des périodes caractérisées par un nombre moindre d'éruptions. Entre 1900 et 1950, la fréquence des éruptions volcaniques d'envergure et, par conséquent, la concentration moyenne des aérosols qui leur sont associés, ont diminué. Cela a favorisé le réchauffement observé au début du 20^e siècle. Toutefois, les décennies plus récentes ont connu une fréquence accrue de ces éruptions, ce qui a fait augmenter de nouveau l'effet de refroidissement net (voir la figure C.8).

Référence : Hegerl et coll., 2007.

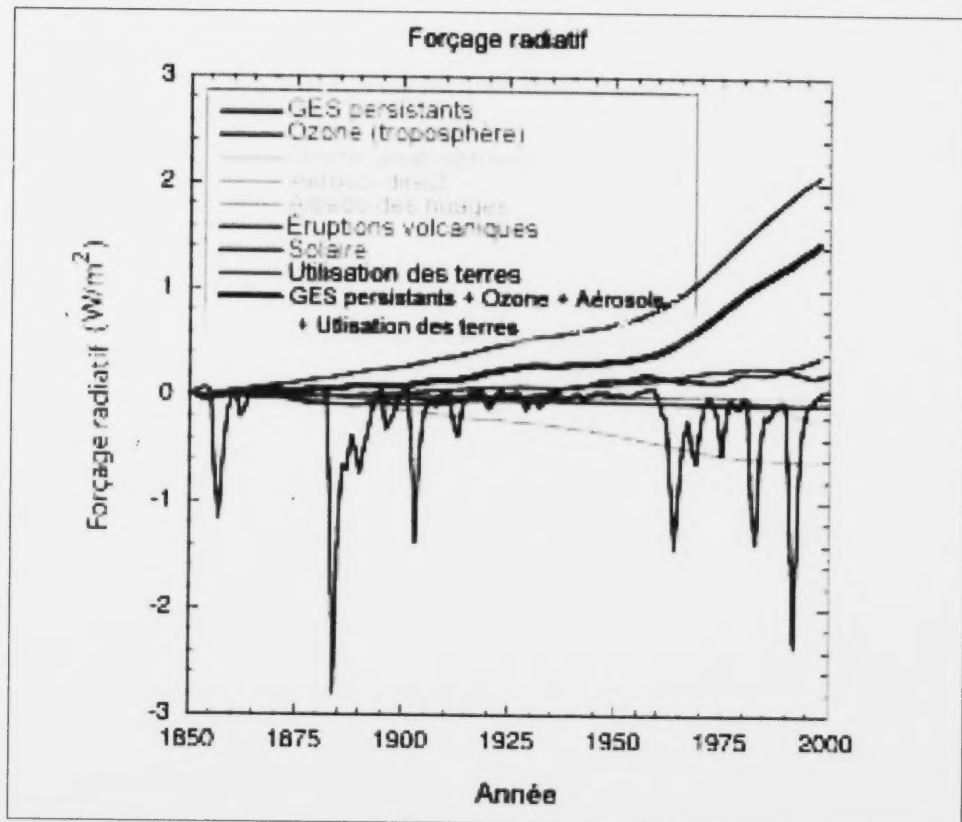


Figure C.8. Changements dans les forçages climatiques naturels et anthropiques depuis 1850. On voit clairement l'influence de refroidissement (forçage négatif) des éruptions volcaniques dans la deuxième moitié du 20^e siècle, ainsi que la forte influence au réchauffement (forçage positif) des gaz à effets de serre persistants (Fig 2.23 panneau du haut, Forster et coll., 2007).

C.9 Pourquoi les scientifiques pointent-ils les gaz à effet de serre et les aérosols anthropiques comme étant à l'origine du réchauffement récent?

Réponse : Selon les simulations par modèle climatique qui tiennent uniquement compte des forçages d'origine naturelle du système climatique, causés par les variations dans le rayonnement solaire et les concentrations des aérosols volcaniques, la terre aurait dû subir un refroidissement au cours des dernières décennies. Cependant, les simulations qui comprennent les changements des concentrations des gaz à effet de serre et des aérosols atmosphériques anthropiques reproduisent le réchauffement de façon remarquablement adéquate. De plus, les configurations temporelles et spatiales (sur la verticale et sur l'horizontale) des changements de température observés, concordent tous avec la configuration attendue en raison de ces facteurs humains, mais divergent par rapport aux facteurs de forçages d'origine naturelle. Enfin, le caractère inhabituel du réchauffement récent dans le dernier millénaire donne également à penser que les facteurs humains sont une cause très probable du réchauffement récent.

Explication : Divers indicateurs ont amené les scientifiques à s'entendre sur le fait que la plus grande partie du réchauffement survenu au cours des 50 dernières années est très probablement le résultat de l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre, masqué en partie par les influences simultanées des émissions anthropiques des aérosols (lesquelles ont un effet de refroidissement). Premièrement, les simulations par modèle qui emploient seulement des forçages d'origine naturelle,

causés par des activités solaire et volcanique, ne permettent pas d'expliquer le réchauffement récent (voir figure C.5). En fait, toutes choses étant égales par ailleurs, ces forçages auraient dû entraîner un refroidissement. Deuxièmement, la nature inhabituelle des tendances récentes, à l'intérieur du contexte de variabilité climatique des deux derniers millénaires, indique qu'il est également improbable que les tendances en question soient le résultat de la combinaison de forçages d'origine naturelle et de la variabilité naturelle. Troisièmement, les tendances récentes ressemblent remarquablement à celles qui ont été simulées par les modèles climatiques lorsqu'ils sont forcés par des changements anthropiques des concentrations de gaz à effet de serre et des aérosols. Enfin, la configuration spatiale (ou 'empreinte') du changement est très semblable à la configuration attendue en raison des forçages anthropiques, mais non à ceux d'origine naturelle. Cette configuration est un composé de réchauffement relativement uniforme en raison de l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre et d'une influence de refroidissement due aux émissions industrielles d'aérosols, laquelle peut varier beaucoup d'une région à l'autre, surtout dans l'hémisphère Nord.

Référence : Hegerl et coll., 2007.

C.10 Une forte augmentation de la température s'est produite vers le début de notre siècle, lorsque les émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre étaient encore relativement faibles. Cependant, les températures ont bel et bien baissé au cours des années 1950 et 1960, lorsque les émissions ont commencé à augmenter rapidement. Ce fait ne contredit-il pas la conception selon laquelle une augmentation des émissions de CO₂ causerait des climats plus chauds?

Réponse : L'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre n'est qu'un facteur parmi tant d'autres qui ont une incidence sur le système climatique. D'autres facteurs importants aux échelles temporelles décennale et plus longues incluent les forçages d'origine naturelle causés par les activités solaire et volcanique, les émissions anthropiques d'aérosols (surtout les aérosols sulfatés) et la variabilité interne naturelle du système climatique. La courte période de léger refroidissement qui s'est manifesté au milieu du siècle semble être reliée, du moins en partie, à une période d'augmentation rapide des concentrations d'aérosols qui a coïncidé avec une phase froide dans la variabilité climatique décennale naturelle. Depuis lors, les mesures prises pour réduire les pluies acides ont contribué à la diminution des concentrations d'aérosols dans l'hémisphère occidental, alors que les concentrations des gaz à effet de serre continuent de s'accroître rapidement. Par conséquent, le rôle du forçage des gaz à effet de serre est devenu de plus en plus dominant par rapport à celui du forçage causé par les aérosols. Tel qu'illustré à la figure C.5, les modèles peuvent désormais reproduire de façon remarquable, les régimes de changement au fil du temps.

Explication : Au cours de la première moitié du siècle, l'intensité croissante du rayonnement solaire, la diminution des concentrations des aérosols volcaniques, et les activités humaines (surtout celles qui ont occasionné une augmentation des concentrations des gaz à effet de serre) ont toutes contribué à la modeste hausse observée de la température globale moyenne à la surface de la terre (voir la figure au point C.5). Cependant, du milieu du 20^e siècle jusqu'à environ 1980, les émissions anthropiques de sulfate dans l'atmosphère au-dessus de l'Amérique du Nord et de l'Europe ont augmenté rapidement. Ces aérosols réfléchissent la lumière solaire et leurs concentrations accrues ont provoqué un refroidissement régional rapide à la surface, qui a eu une incidence sur les températures globales et compensé une bonne partie du réchauffement causé par les concentrations accrues des gaz à effet de serre. Les émissions de gaz à effet de serre ont également augmenté rapidement au cours de la même période, mais le temps de réponse du système climatique face aux changements des concentrations des gaz à effet de serre est plus lent que dans le cas des aérosols. En outre, les océans du Pacifique Nord et de l'Atlantique Nord ont connu une période de refroidissement de surface régional dans les années 1950 et 1960, qui fait partie d'une oscillation climatique naturelle pluridécennale à long terme. Il semble que la combinaison de variabilité naturelle et de refroidissement causé par le sulfate ait suffi pour compenser l'effet de serre accru, lequel était encore relativement moindre

à l'époque. Au cours des années 1980, la plupart du monde industrialisé mettait en œuvre des programmes rigoureux de lutte contre les pluies acides qui ont permis de diminuer les concentrations des aérosols sulfatés en Amérique du Nord et en Europe. Étant donné que le temps de séjour des aérosols dans l'atmosphère est très court, ces programmes ont rapidement réduit leurs concentrations, ce qui a donc diminué leur influence de refroidissement sur les climats régionaux. De plus, la phase froide des cycles océaniques s'est terminée et les concentrations des gaz à effet de serre ont continué à augmenter rapidement. Lorsque ces facteurs, ajoutés aux forçages solaires et volcaniques, sont pris en considération dans les simulations par modèle climatique, les résultats confirment qu'ils peuvent expliquer le régime décennal des changements de la température au cours du dernier siècle, y compris le léger refroidissement survenu au milieu du siècle et la hausse rapide constatée depuis.

Référence : Hegerl et coll., 2007.

C.11 Est-ce que la variabilité naturelle de climat qui survient sur des échelles de temps de plusieurs décennies, ont-elles contribué à la tendance de réchauffement récente?

Réponse : Les oscillations climatiques qui se produisent sur des intervalles autour de quelques décennies, en raison de la variabilité interne naturelle du système climatique, constituent un facteur important pour déterminer les tendances climatiques à court terme à l'échelle régionale. Toutefois, lorsqu'on en calcule leur moyenne sur plusieurs décennies, et sur des échelles continentales à planétaires, les variations causées par ces oscillations s'annulent. Par conséquent, bien que les oscillations soient probablement un facteur d'intensification du réchauffement dans des régions telles que l'Arctique, elles ne peuvent pas expliquer correctement l'ampleur du réchauffement observé sur plusieurs décennies et aux échelles continentales ou de plus grande étendue.

Explication : L'atmosphère et les océans de la terre subissent constamment des oscillations qui peuvent avoir une incidence considérable sur les climats régionaux à des échelles de temps décennale et pluridécennale. Ces oscillations représentent la variabilité interne du système climatique. La plus connue d'entre elles est le cycle El Niño/La Niña, officiellement appelé l'oscillation australe El Niño. Ces oscillations, par exemple, sur une période de 20 ans, peuvent influencer considérablement la tendance des températures de surface à l'échelle régionale. Le réchauffement récent survenu en Arctique, par exemple, est probablement attribuable en partie à une variation de l'oscillation arctique (AO), qui est aussi reliée à l'oscillation nord-atlantique (NAO). De même, le réchauffement récent survenu dans le Pacifique Nord semble également avoir été influencé par un changement qui s'est produit dans une phase de l'oscillation du Pacifique pluridécennale. Toutefois, lorsqu'on fait leur moyenne dans l'hémisphère et sur des échelles de temps pluridécennales, bon nombre de ces variations naturelles s'annulent. Ainsi, le réchauffement planétaire au cours des 50 dernières années semble être principalement dû à des forçages externes du système climatique plutôt qu'à la variabilité interne du système climatique. Le caractère inhabituel du réchauffement récent, lorsqu'on le compare à la variabilité au cours du dernier millénaire, vient appuyer davantage cette conclusion.

Référence : Hegerl et coll., 2007.

C.12 Malgré le réchauffement planétaire général au cours du 20^e siècle, certaines personnes allèguent que les températures moyennes actuelles sont encore inférieures à celles qui ont prévalu pendant les périodes chaudes survenues par le passé, comme la période de réchauffement médiéval. Cela ne suggère-t-il pas que les hausses actuelles sont vraisemblablement attribuables à des causes naturelles et donc qu'elles ne seraient pas vraiment préoccupantes?

Réponse : Tel qu'il a été souligné au point C.4, bien que le réchauffement de 0,74 °C observé au cours des 100 dernières années semble modeste, des comparaisons effectuées avec des reconstructions climatiques pour les siècles passés pour l'hémisphère Nord, montrent que la deuxième moitié du 20^e siècle a probablement été, au moins dans cet hémisphère, la période de 50 ans la plus chaude, à tout le moins au cours des 1300 dernières années. Cette période englobe l'intervalle couramment appelé « période de réchauffement médiéval ». De plus, des études par modèle climatique montrent qu'il est très difficile de reproduire les tendances climatiques du dernier millénaire sans tenir compte du rôle des forçages anthropiques du climat. Les spécialistes ont donc conclu que les tendances des 50 dernières années sont véritablement très significatives et qu'il est fort improbable qu'elles résultent de causes naturelles.

Explication : Les chercheurs ont recueilli indirectement de l'information sur les climats passés, à partir de divers indicateurs comme les anneaux de croissance des arbres, les carottes de glace et les coraux océaniques. Ceux-ci montrent que, du moins pour l'hémisphère Nord, la deuxième moitié du 20^e siècle a probablement été la période de 50 ans la plus chaude à tout le moins au cours des 1300 dernières années. En outre, la décennie de 1990 a été la plus chaude. En comparaison, la période de réchauffement médiéval, qui s'est produite il y a environ mille ans, semble s'être manifestée dans les régions entourant l'Atlantique Nord, mais pas dans d'autres parties de l'hémisphère Nord. Par conséquent, les températures moyennes pour tout l'hémisphère au cours de cette période ont été plus fraîches que celles du dernier siècle (voir la figure C.4). Les indicateurs substitutifs pour l'hémisphère Sud sont actuellement trop rares pour permettre des comparaisons aussi concluantes dans cette région. Cependant, des scientifiques spécialisés en paléoclimatologie ont également effectué des approximations des températures globales en remontant davantage le temps. Les résultats obtenus portent à croire que les températures à l'apogée de l'actuelle période interglaciaire, il y a quelque 6 000 ou 8 000 ans, étaient d'environ 1 °C plus élevées que maintenant, et que des variations de température de cet ordre se sont produites à l'échelle de milliers d'années depuis lors. Cela suggère qu'une partie du récent réchauffement pourrait être attribuable à des causes naturelles.

Tel qu'illustré sur la figure C.4, les études avec modèles climatiques montrent que, pendant la première moitié du 20^e siècle, une grande partie du réchauffement est en fait probablement attribuable à une combinaison de l'accroissement du rayonnement solaire, de la diminution de la poussière volcanique dans l'atmosphère et de concentrations accrues des gaz à effet de serre. Cependant, au cours des 50 dernières années, l'intensité solaire n'a montré aucune tendance majeure à long terme, et de fortes éruptions volcaniques plus fréquentes ont, en moyenne, augmenté le niveau de poussière volcanique dans l'atmosphère avec le temps. Par conséquent, les effets combinés des causes naturelles de changement, en elles-mêmes, auraient dû entraîner un refroidissement pendant cette période. Au contraire, les relevés d'observation du climat révèlent un rapide réchauffement au cours des récentes décennies, qui concorde avec ce qui est attendu en raison des influences humaines. Par conséquent, même si les changements de température survenus tout au long du siècle dernier sont attribuables à une combinaison de facteurs naturels et humains, ceux qui remontent aux 50 dernières années sont très vraisemblablement attribuables en majorité à l'influence humaine.

Références : Hegerl et coll., 2007; Jansen et coll., 2007.

D. Prévvision du climat

D.1 Comment prévoit-on le changement climatique?

Réponse : L'outil-principalement utilisé par les scientifiques pour prévoir la façon dont le climat évoluera dans l'avenir est le « modèle » climatique. Ces modèles sont développés à partir des connaissances en physique et en mathématiques les plus avancées dont nous disposons actuellement. En raison du grand nombre de calculs mathématiques impliqués, les simulations climatiques effectuées à l'aide de ces modèles exigent, pour être efficaces, l'utilisation du matériel informatique le plus puissant disponible. Les modèles sont tout d'abord testés à l'aide des climats observés et des climats antérieurs afin de garantir l'exactitude de leur simulation. Une fois ces tests et d'autres tests effectués avec succès, les modèles sont appliqués à la prévision de climats futurs à l'aide de divers scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols. La différence entre le climat du passé récent ou actuel et le climat futur nous offre une indication de l'ampleur du changement climatique. À l'échelle régionale, bien que les évaluations des modèles présentent des écarts appréciables entre les climats observés et ceux simulés, les modèles perfectionnés actuels permettent d'assez bien reproduire les régimes et les tendances aux échelles globales et continentales. Les modélisateurs croient donc être en mesure de fournir des indicateurs utiles de la réaction du climat à la poursuite des activités humaines qui interfèrent avec le système climatique.

Explication : Les modèles climatiques qui servent à la prévision des climats futurs sont fondés sur des principes reconnus des sciences physiques et sur une importante quantité d'observations scientifiques du système climatique. Ils font appel à des équations mathématiques complexes pour décrire la façon dont ces principes régissent les interactions entre la terre, la mer, la glace et l'air qui, ensemble, déterminent le climat de la planète. Ces modèles sont ensuite exploités par de très gros ordinateurs afin de simuler le comportement du climat. Ils font tout d'abord l'objet d'un test afin de vérifier leur capacité de bien décrire le climat actuel et la plupart d'entre eux peuvent maintenant décrire de façon passablement exacte les principales caractéristiques du système climatique. Les modèles présentent cependant d'importants écarts au niveau régional, d'une part parce que leurs résolutions temporelle et spatiale ne sont pas assez fines pour tenir compte de toutes les interactions régionales significatives du système climatique et, d'autre part, parce que certaines de ces interactions ne sont pas encore suffisamment comprises. La puissance des ordinateurs demeure un facteur principal limitant les détails du système climatique qui peuvent être inclus dans les modèles. Les modèles sont ensuite appliqués aux climats du passé, y compris à celui des 100 dernières années, au pic climatique de l'holocène d'il y a 6 000 ans, et au dernier maximum glaciaire d'il y a 18 000 ans. La plupart des modèles les plus perfectionnés peuvent maintenant simuler ces climats assez bien, particulièrement celui des 100 dernières années. Enfin, des études comparatives des modèles sont aussi effectuées, afin de connaître les points de désaccord entre les modèles et les raisons de ces désaccords. La confiance envers le rendement des modèles climatiques s'est accrue continuellement au cours des quatre dernières décennies de leur évolution. Ainsi, bien qu'il demeure certaines incertitudes quant au rendement des modèles, le niveau de confiance est très élevé en ce qui concerne leur potentiel à nous fournir des conseils utiles sur le changement climatique futur.

Référence : Meehl et coll., 2007.

D.2 Quelle incidence auront les facteurs de forçage naturel du climat sur le système climatique au cours du siècle à venir?

Réponse : Les deux principaux forçages d'origine naturelle, externes au système climatique, qui ont une incidence sur le changement, sont l'irradiation solaire et les émissions d'aérosols sulfatés par les éruptions volcaniques. Bien que l'on sache que le cycle de taches solaires d'une durée de 11 ans con-

tribue à la variabilité climatique à court terme, les variations à plus long terme du comportement du soleil sont peu connus ou prévisibles. Toutefois, il est peu probable que ces variations dépassent de manière significative les variations observées au cours du siècle dernier, que l'on estime actuellement avoir eu une influence nette de réchauffement d'environ $0,1 \text{ W/m}^2$. Cela représente un ordre d'ampleur moindre que celui correspondant au forçage du climat provoqué par des concentrations croissantes de gaz à effet de serre au cours de la même période. De même, les émissions épisodiques de sulfate dans la stratosphère provenant des éruptions volcaniques peuvent avoir des effets de refroidissement considérables sur le climat (jusqu'à -3 W/m^2), et ce, pendant quelques années après une éruption. Cela dit, la tendance à long terme pour la charge en aérosols dans la stratosphère, bien que peu comprise, paraît faible. Par conséquent, le rôle combiné de ces deux forçages devrait être faible comparativement au forçage prévu pour les futures émissions de gaz à effet de serre. Les oscillations internes du système climatique, tout particulièrement les oscillations liées à la circulation océanique, peuvent également contribuer de manière significative à la variabilité climatique décennale et interdécennale. Toutefois, rien ne laisse présager qu'elles contribueront à la tendance à long terme du climat à long terme au cours du siècle prochain. Par conséquent, les spécialistes prédisent avec confiance que les concentrations croissantes des gaz à effet de serre constitueront le facteur dominant du changement climatique au cours du siècle à venir.

Explication : La source fondamentale de toute l'énergie qui entre dans le système climatique terrestre est le rayonnement solaire. Par conséquent, la variation du rayonnement émis par le soleil est un important agent de forçage radiatif du climat. Les observations par satellite effectuées depuis la fin des années 1970 montrent des variations relatives d'environ 0,1 % de l'irradiation solaire totale au sommet de l'atmosphère terrestre au cours des deux derniers cycles de 11 ans d'activité solaire, soit l'équivalent d'une variation d'environ $0,2 \text{ W/m}^2$ du forçage radiatif. Cela a également un effet important sur la concentration en O_3 dans la stratosphère, laquelle peut, à son tour, influencer le climat (voir la figure B.13). Cependant, bien que les tendances à long terme de l'irradiation demeurent incertaines, les spécialistes s'entendent presque tous sur le fait que le forçage solaire du climat a probablement contribué au réchauffement planétaire pendant la première moitié du 20^e siècle, mais qu'il n'était pas un facteur important pendant la deuxième moitié du siècle. Le forçage net du climat causé par des variations dans l'irradiation solaire pendant tout le siècle est estimé à $+0,12 \text{ W/m}^2$. Bien qu'il soit presque impossible de prévoir le comportement du soleil à long terme, rien ne prouve que l'envergure des changements susceptibles de se produire pendant le siècle prochain sera considérablement plus appréciable que celle dont il est fait mention ou qu'elle sera positive ou négative.

L'activité volcanique peut entraîner le rejet de grandes quantités de gaz contenant du soufre (surtout du dioxyde de soufre) dans la stratosphère, lesquels sont ensuite transformés en aérosols sulfatés. Ces derniers intensifient la réflexion de la lumière solaire vers l'espace, occasionnant ainsi le refroidissement de la surface de la terre et de la basse atmosphère. Ce forçage de refroidissement peut durer quelques années avant que les aérosols soient retirés par l'effet de la gravité, et il peut être considérable. On estime, par exemple, que le forçage lié à l'éruption du mont Pinatubo, qui a eu lieu en 1991, a atteint une valeur maximale de 3 W/m^2 . Toutefois, bien qu'il soit impossible de déterminer le comportement des volcans au cours du siècle prochain, il est improbable que ces événements épisodiques diffèrent de manière significative de ceux qui sont survenus au cours des siècles derniers. Par conséquent, bien qu'ils contribuent d'une année à l'autre à la variabilité du climat, il est peu probable que leurs émissions contribuent significativement aux tendances climatiques au cours du siècle prochain.

Des variations naturelles internes du climat peuvent également se produire dans le système climatique, en grande partie à la suite d'interactions complexes entre les composantes du système. Particulièrement importantes en ce sens sont les oscillations au sein de la composante couplée atmosphère-océan du système climatique, telles que l'oscillation australe El Niño (ENSO), l'oscillation Nord Atlantique/Arctique et l'oscillation décennale du Pacifique. Cependant, alors que leur influence décennale peut être importante, surtout à l'échelle régionale, ces fluctuations climatiques internes s'annulent généralement au fil du temps. Pendant le siècle prochain, elles continueront à contribuer à la variabilité naturelle du climat, mais elles ne devraient pas affecter les tendances à long terme.

Référence : Meehl et coll., 2007.

D.3

Quelles sont les projections du forçage du climat causé par des variations dans les concentrations des gaz à effet de serre et des aérosols troposphériques au cours du siècle prochain?

Réponse :

Le futur forçage du climat provoqué par les émissions des gaz à effet de serre et des aérosols dépendra en grande partie de la façon dont la société évoluera au fil du temps ainsi que des décisions prises en vue de réduire ces émissions. Actuellement, la contribution humaine nette au forçage relatif du climat depuis la période préindustrielle est estimée à $1,6 \text{ W/m}^2$ (voir le point B.13). Toutefois, les scénarios pertinents d'un « maintien du statu quo » élaborés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) suggèrent que, d'ici 2100, le forçage causé par les concentrations croissantes des gaz à effet de serre pourrait augmenter d'une tranche supplémentaire de $2,1$ à $7,3 \text{ W/m}^2$. Cela signifie que, comparativement aux niveaux préindustriels, le forçage net d'ici 2100 pourrait équivaloir de deux à cinq fois celui d'aujourd'hui.

En comparaison, le forçage prévu résultant des variations dans les émissions de sulfate, d'aérosols fuligineux et du carbone organique est relativement faible, car il oscille entre $-0,1$ et $+0,2 \text{ W/m}^2$.

Explication :

Selon les prévisions futures des concentrations des gaz à effet de serre pour 2100, présentées dans le Rapport spécial sur les scénarios d'émissions du GIEC (RSSE), les concentrations de CO_2 vont atteindre des valeurs entre 540 et 970 ppm, comparativement à environ 280 ppm atteint pendant l'ère préindustrielle (l'année 1750) et à 379 ppm en 2005. Les prévisions des concentrations de CH_4 varient d'environ 1550 à 3700 ppb, comparativement à environ 715 ppb en 1750 et à environ 1774 ppb en 2005. Pour le N_2O , les prévisions des concentrations varient entre 350 et 450 ppb, comparativement à 270 ppb en 1750 et 319 ppb en 2005. Les concentrations d' O_3 troposphérique et de toute une série d'autres gaz à effet de serre devraient aussi augmenter. En comparaison, en raison des mesures prises pour réduire la pollution atmosphérique locale, la hausse des émissions d'aérosols sera beaucoup moindre. On évalue la contribution humaine au forçage du climat à ce jour à $1,6 \text{ W/m}^2$. L'effet net des augmentations prévues dans les concentrations des gaz à effet de serre est une augmentation supplémentaire du forçage du climat allant de $2,1 \text{ W/m}^2$ (RSSE B1) à $7,25 \text{ W/m}^2$ (RSSE A1F1).

Les concentrations d'aérosols dont on a tenu compte dans les scénarios du RSSE englobent les concentrations de sulfates, les aérosols rejetés dans l'atmosphère par la combustion de la biomasse, le carbone noir des combustibles fossiles (suies) et le carbone organique des combustibles fossiles. Certains de ces aérosols (p. ex. les sulfates et le carbone organique des combustibles fossiles) ont un effet de refroidissement, alors que d'autres (les suies et les aérosols provenant de la combustion de la biomasse) ont un effet de réchauffement. À l'échelle régionale, les scénarios RSSE englobent à la fois la possibilité d'une augmentation et la possibilité d'une réduction des émissions d'aérosols anthropiques, selon l'étendue de l'utilisation des combustibles fossiles et des politiques visant à enrayer la pollution atmosphérique locale. Étant donné que les émissions devraient continuer à augmenter dans certaines régions et à diminuer dans certaines autres, la distribution régionale du forçage d'aérosol futur devrait changer de manière significative par rapport à celle d'aujourd'hui. Toutefois, dans l'ensemble des six scénarios d'illustration RSSE, les concentrations globales de sulfate diminuent. Cela devrait conduire à un réchauffement climatique par rapport à la situation actuelle. L'effet net direct des variations prévues dans les quatre types d'aérosol varie entre un refroidissement de $0,1 \text{ W/m}^2$ et un réchauffement de $0,2 \text{ W/m}^2$.

Références : GIEC, 2000; Ramaswamy et coll., 2001; Meehl et coll., 2007.

D.4

À quel point la terre est-elle susceptible de se réchauffer au cours des 100 prochaines années?

Réponse :

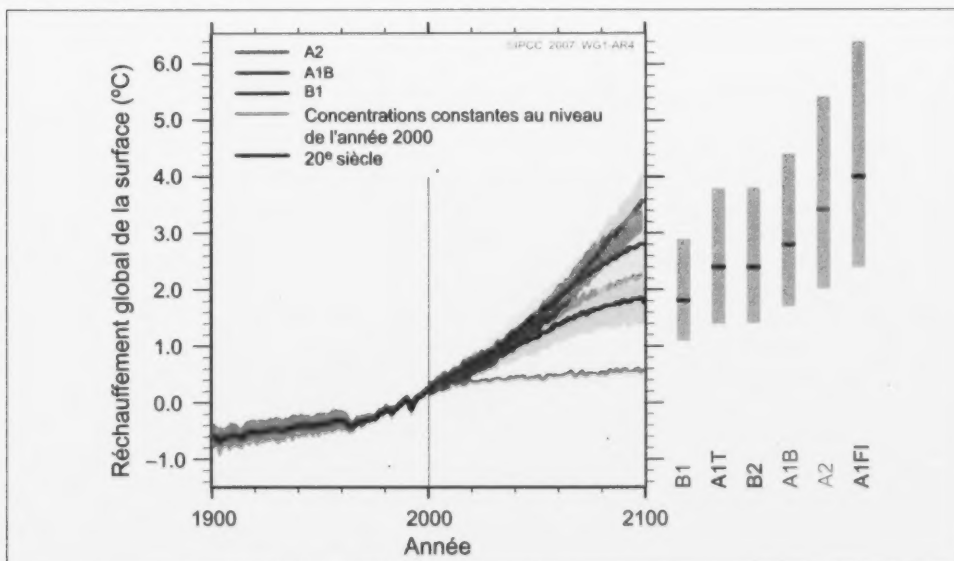
Sans une intervention coordonnée pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, on prévoit que la température moyenne à la surface de la terre, par rapport à 1990, devrait augmenter de $1,1$ à $6,4 \text{ }^\circ\text{C}$, d'ici l'an 2100. Ces chiffres tiennent compte aussi bien des incertitudes relatives aux augmentations futures des concentrations des gaz à effet de serre (incertitudes relatives à la démographie et au comportement humain) que des divergences entre les modèles climatiques au sujet de l'intensité ou de la rapidité de la réponse du système climatique face à de telles augmentations (incertitude scientifique). Cependant, même si les concentrations des gaz à effet de serre sont stabilisées, les tem-

pératures continueront à augmenter pendant des siècles encore, en raison du délai de réponse de la part des océans et des glaces face au forçage du climat.

Explication : La prévision de température la plus optimiste fournie par le GIEC dans son quatrième rapport d'évaluation est basée sur le scénario d'émissions RSSE-B1 qui repose sur l'atteinte d'une pointe de la population vers le milieu du 21^e siècle, un virage rapide vers une économie de services et d'informations et, l'utilisation à grande échelle de technologies énergétiques propres d'ici 2100. Lorsque l'on utilise un grand nombre de modèles climatiques pour fournir des projections basées sur ce scénario d'émissions, et que l'on tient compte d'information additionnelle sur les rétroactions du cycle de carbone à l'intérieur du système climatique, le plus faible estimé probable de réchauffement d'ici 2100 est de 1,1 °C au-dessus des niveaux actuels. Le pire cas se rattache au scénario RSSE-A1F1, qui se distingue par une forte utilisation continue de combustibles fossiles tout au long du 21^e siècle. En se basant sur ce scénario, le plus fort estimé probable de réchauffement prévu d'ici 2100 est de 6,4 °C au-dessus des niveaux actuels. Ces résultats, ainsi que ceux présentés à la figure D.4, démontrent clairement que l'ampleur du réchauffement qui va se produire au cours du 21^e siècle va être fortement influencée par l'évolution de la société durant cette période et par ses émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols.

Étant donné que la plupart des gaz à effet de serre restent dans l'atmosphère pendant longtemps, les effets des émissions antérieures vont perdurer pour des siècles, même si les émissions des gaz à effet de serre attribuables aux activités humaines étaient interrompues dès maintenant. Les estimés des modèles climatiques indiquent que même si les concentrations atmosphériques de tous les gaz à effet de serre et aérosols étaient gardées constantes au niveau de l'année 2000, un réchauffement additionnel de 0,6 °C devrait survenir d'ici la fin du siècle, ainsi qu'un lent réchauffement additionnel au cours des siècles suivants. Il importe de souligner que les variations de température ne surviendront pas de façon uniforme dans le monde entier. La terre se réchauffera davantage que les océans, les latitudes élevées plus que les latitudes basses et, les hivers aux latitudes moyennes à élevées plus que les étés. Au Canada, la température moyenne annuelle pourrait augmenter de 5 à 10 °C au cours du siècle prochain.

Référence : Meehl et coll., 2007.



D.5

Pourquoi y a-t-il un écart supérieur à 5 °C dans les projections du réchauffement planétaire?

Réponse :

Toute prévision de changement climatique comporte une certaine incertitude dont les deux sources principales sont : i) les insuffisances dans la performance des modèles climatiques qui résultent d'une puissance de calcul limitée et d'une compréhension scientifique insuffisante et/ou d'une représentation inadéquate de la variabilité et des processus climatiques au sein de ces modèles; et ii), l'incertitude inhérente aux facteurs démographiques et socioéconomiques qui déterminent le niveau des émissions futures de gaz à effet de serre et d'aérosol dans l'atmosphère. Lorsque ces incertitudes scientifiques et démographiques se combinent dans des simulations par modèle, elles montrent un écart de plus de 5 °C dans l'ampleur du réchauffement prévu pour 2100, entre la projection la plus optimiste du GIEC, un réchauffement de 1,1 °C, et la plus pessimiste, un réchauffement de 6,4 °C.

Explication :

L'une des raisons principales de cette incertitude est de nature scientifique. Par exemple, une compréhension inadéquate des processus atmosphériques et océaniques, ou les limites sur la façon dont on peut les décrire en des termes mathématiques pouvant être simulés par les modèles climatiques, restreint l'exactitude de n'importe quelle estimation de la réponse du climat au forçage radiatif. Une puissance de calcul limitée, qui oblige les modélisateurs à choisir entre une résolution moindre et une description mathématique plus simple des processus climatiques, est aussi un facteur important. Par conséquent, les divers modèles climatiques utilisés dans la projection des climats futurs emploient des méthodes différentes pour représenter des composantes importantes comme les nuages ou la glace de mer, ce qui peut conduire à des estimations différentes des variables climatiques.

La deuxième raison principale de l'incertitude quant aux projections climatiques futures est la prévisibilité des émissions futures de gaz à effet de serre et d'aérosols. Ces émissions sont déterminées par la rapidité avec laquelle les populations humaines et les économies s'accroîtront au cours des futures décennies, l'efficacité avec laquelle les sociétés consommeront l'énergie, le type d'énergie employé et comment l'utilisation des terres par l'homme va changer. Ces incertitudes concernent le futur comportement social plutôt que le système climatique. Pendant la première moitié du 21^e siècle, l'incertitude scientifique rattachée aux modèles climatiques est la raison principale de l'incertitude des projections climatiques. Cependant, l'incertitude quant au comportement démographique et ses répercussions connexes sur les scénarios d'émissions dominent les incertitudes pour la deuxième moitié du siècle.

Référence : Meehl et coll., 2007.

D.6

Quels processus climatiques et quelles rétroactions contribuent le plus aux différences retrouvées dans les simulations par modèle, de la sensibilité du climat face au forçage climatique?

Réponse :

L'une des plus importantes causes d'incertitude entre les diverses simulations par modèle climatique de la sensibilité, du climat dépend de la description, que proposent ces modèles, du rôle de la vapeur d'eau, des nuages et d'autres aspects du cycle hydrologique dans les procédés radiatifs atmosphériques. Cela résulte en partie de la nature fort variable de ces paramètres, tant dans l'espace que dans le temps, ainsi que des observations et de la compréhension inadéquates des processus hydrologiques qui surviennent dans la haute troposphère. Toutefois, il est aussi très difficile de décrire convenablement ces processus, qui se produisent à des échelles physiques variant de micromètres à des kilomètres, en employant des équations mathématiques qui décrivent des processus climatiques à des résolutions de modèle de centaines de kilomètres. On compte parmi les autres sources importantes de l'incertitude quant aux résultats issus des modèles climatiques : le rôle de la neige et de la glace de mer en tant que rétroactions climatiques, la description des circulations océaniques et des processus de flux de chaleur connexes, et les rétroactions du cycle du carbone.

² La sensibilité du climat fait référence à l'ampleur de la réponse du système climatique global, en termes de températures, à un forçage du climat causé par un doublement des concentrations de CO₂, quand le système climatique a atteint un nouvel état d'équilibre. Les experts indiquent que cette sensibilité pourrait varier entre 2 et 4,5 °C par doublement de CO₂.

Explication :

Les nuages et la vapeur d'eau jouent des rôles très importants dans la modification du flux de l'énergie solaire et infrarouge qui passe à travers l'atmosphère et dans le transport de l'énergie autour de la planète. La vapeur d'eau est un gaz à effet de serre important qui intensifie les changements climatiques

occasionnés par d'autres facteurs. Lorsqu'il y a formation de vapeur d'eau, ce processus transforme également une grande quantité d'énergie en chaleur latente qui peut être relâchée de nouveau, loin de son emplacement d'origine, quand la vapeur d'eau est de nouveau condensée sous forme des gouttelettes d'eau qui forment les nuages. Les nuages réfléchissent la lumière solaire incidente et absorbent le rayonnement sortant; l'effet net de ces processus compensatoires de flux d'énergie variant en fonction du type de nuage, de l'altitude et de la nature de la surface sous-jacente en dessous des nuages. De plus, en raison du nombre limité d'observations dans la moyenne à haute troposphère, les processus relatifs à la vapeur d'eau et aux nuages dans ces régions sont mal compris. Bon nombre de ces processus surviennent aussi à l'échelle microphysique et peuvent varier sur la verticale et l'horizontale d'un mètre à l'autre. Par conséquent, il est vraiment difficile de décrire ces processus avec précision à l'aide des équations mathématiques employées dans des modèles climatiques ayant des résolutions de centaines de kilomètres. Les divers modèles emploient des schémas différents ayant chacun leurs propres restrictions et leurs propres avantages.

La glace de mer et le manteau nival jouent eux aussi des rôles importants dans les processus climatiques, tout particulièrement à l'échelle régionale, en raison de leur capacité à réfléchir la lumière solaire et d'isoler la surface terrestre et les océans en dessous d'eux pour empêcher des pertes de chaleur vers l'atmosphère pendant les saisons froides. Cependant, la présence ou l'absence de neige ou de glace est directement proportionnelle au point de congélation et, par conséquent, est sensible aux variations, même mineures, des températures de surface. De plus, l'effet de la glace de mer océanique est modifié par la dynamique des océans, la présence de chenaux d'eau libre et de polynies⁸ dans la banquise et par d'autres variables. Encore une fois, il y a des différences importantes dans la façon dont les groupes de modélisation décrivent ces processus.

Tant le taux d'absorption de chaleur par l'océan que la réponse de la circulation océanique au changement climatique sont des variables importantes qui régissent l'inertie du système climatique et donc le taux de réchauffement atmosphérique. Il n'en reste pas moins qu'il y a encore des différences appréciables dans le degré de satisfaction avec lequel ces modèles peuvent simuler ces processus.

Le cycle du carbone planétaire est une autre rétroaction importante. Le changement climatique va affecter la santé et la distribution des écosystèmes ainsi que la fréquence des feux incontrôlés, ce qui affecte le flux de carbone entrant et sortant de l'atmosphère. Cela affecte ensuite la quantité de CO₂ rejeté par les émissions anthropiques qui reste dans l'atmosphère. De même, les variations de la circulation océanique et de la productivité, en réponse au changement climatique, peuvent avoir une incidence sur l'absorption nette de CO₂ atmosphérique par l'océan. L'ampleur de ces rétroactions du cycle du carbone sur le système climatique demeure incertaine, mais on s'attend à ce que la plupart soient positives, ce qui implique qu'elles vont accroître l'ampleur de la réponse globale, en termes de températures, à tout changement de forçage dû aux gaz à effet de serre.

Référence : Randal et coll., 2007.

⁸ Les chenaux d'eau libre et les polynies sont des ouvertures de la mer libre pouvant se former à l'intérieur de la banquise. En hiver, ces ouvertures sont une source importante de flux de chaleur et d'humidité vers l'atmosphère froide supérieure.

D.7 Pourquoi devrions-nous croire aux températures issues des modèles climatiques lorsque leurs diverses projections à l'égard d'un futur climat sont si différentes?

Réponse : Même si les modèles divergent sur les détails du futur changement climatique, ils concordent généralement assez bien à l'échelle continentale et au sujet de l'importance des changements prévus de température, particulièrement au cours des prochaines décennies. Par conséquent, bien qu'ils ne puissent pas fournir de projections détaillées sur la façon dont changeront les climats, ce sont des outils utiles pour donner des projections sur la direction et l'ampleur approximatives d'un tel changement.

Explication : Divers modèles utilisent des techniques différentes pour décrire comment les différentes composantes du système climatique fonctionnent. En outre, il existe une importante variabilité naturelle au sein du système climatique, de sorte que des expériences effectuées avec le même modèle dont les forçages sont identiques, mais dont les points de départ sont légèrement différents, peuvent

donner des résultats légèrement différents. Par conséquent, il y a des différences appréciables entre les expériences modélisées, dans les détails qui concernent la nature et le taux de changement du climat futur. Cependant, tous les modèles concordent sur le fait que le réchauffement sera prononcé et vraisemblablement sans précédent dans l'histoire humaine, qu'il sera plus intense pour les continents que pour les océans, et dans les hautes latitudes que les basses.

Référence : Meehl et coll., 2007.

D.8

À quel point sont fiables les modèles employés pour prévoir les changements futurs fournissent ils des renseignements fiables sur d'autres indicateurs climatiques tels que les précipitations?

Réponse :

Les projections des modèles du climat planétaire sont des indicateurs utiles de la direction et de la portée des changements prévus relatifs à une vaste gamme de variables climatiques à l'échelle planétaire et continentale, à mesure que les températures du globe augmentent. Par exemple, ils projettent de façon constante une accélération du cycle hydrologique planétaire et une élévation connexe de la moyenne annuelle des précipitations totales, une augmentation de l'intensité des précipitations, des sécheresses estivales plus prononcées dans les régions au centre des continents, un changement dans la trajectoire des tempêtes, un ralentissement de la circulation océanique planétaire et, une diminution de l'étendue de la glace de mer et de la neige dans les latitudes moyennes à élevées et dans les hautes altitudes.

Explication :

Tous les modèles projettent une augmentation de l'évaporation de surface et du total des précipitations mondiales annuelles (ce qui est cohérent avec un cycle hydrologique accéléré dans un mode plus chaud), bien qu'ils divergent sur leur importance. En ce qui concerne la répartition géographique, la plupart concordent sur le fait que les hautes latitudes deviendront nettement plus humides, ce qui est conforme à un déplacement vers les pôles des trajectoires des tempêtes dans l'ensemble des latitudes moyennes. Bon nombre de régions dans les latitudes moyennes connaîtront probablement une diminution des précipitations pendant l'été. La plupart des modèles prévoient également que, lorsqu'il pleut ou qu'il neige, un volume plus grand de précipitations tombera sous forme de phénomènes intenses. Par exemple, en Amérique du Nord, un événement pluvieux extrême de récurrence un dans vingt ans devra probablement se produire, d'ici 2100, à une récurrence d'une fois tous les dix ans. Cependant, cela signifie par ailleurs que, dans bon nombre de régions, la durée des intervalles entre les événements pluvieux va probablement également augmenter. Par conséquent, dans les régions au centre des continents, la durée et l'intensité des sécheresses estivales devraient aussi augmenter.

Les changements de température de l'air et de précipitations affectent également les températures et la salinité des eaux de surface des océans, qui jouent un rôle important dans la densité de l'eau et, par conséquent, dans la circulation océanique. La plupart des simulations par modèle prévoient une diminution considérable du renversement des eaux dans l'océan Atlantique, jusqu'à 50 % et, par conséquent, un affaiblissement du Gulf Stream, un courant d'eau tiède dans l'Atlantique. L'étendue et l'épaisseur de la glace de mer devraient diminuer et certains modèles prévoient la perte totale de la glace de mer dans l'Arctique pendant l'été d'ici la deuxième moitié du 21^e siècle. Pour les zones terrestres continentales, tous les modèles concordent sur le fait que la saison du manteau nival se raccourcira et que son étendue diminuera de manière significative.

Toutefois, parce que la plupart des variables climatiques mentionnées ci-dessus subissent l'influence d'un ensemble complexe de rétroactions aux changements de température, l'incertitude quant à l'ampleur et même le signe des changements connexes à l'échelle régionale, est de loin plus grande que l'incertitude relative à la température. Les études qui portent sur les répercussions possibles du changement climatique à cette échelle doivent tenir compte de la gamme complète des simulations issues de nombreux modèles climatiques de pointe pour bien capter la gamme complète des résultats possibles.

Référence : Meehl et coll., 2007; Kharin et coll., 2007.

D.9

Il arrive souvent que les modèles servant aux prévisions météorologiques soient incapables de prévoir correctement le temps qu'il fera dans quelques jours. Comment peut-on s'attendre à ce que les modèles climatiques fassent des prévisions crédibles pour les décennies à venir si ce n'est pour le siècle prochain?

Réponse :

Le climat représente la moyenne des conditions météorologiques et est donc plus facile à prévoir que les variations horaires ou quotidiennes du temps. Le temps a un comportement chaotique et est souvent difficile à prévoir à plus d'une semaine à l'avance environ. Quant au climat, il est en grande partie déterminé par des processus géophysiques à l'échelle du globe et de la région qui varient lentement. Par conséquent, si ces facteurs sont correctement compris et prévisibles, le climat peut aussi être prévu longtemps à l'avance et avec un bon degré de confiance.

Explication :

Le temps qu'il fait un jour donné et en un endroit donné est largement déterminé par la circulation atmosphérique, la formation de systèmes météorologiques à grande échelle et les processus convectifs locaux. Étant donné la nature chaotique de l'atmosphère, la capacité de prévision décroît avec le temps et s'avère marginale au-delà d'environ une semaine. Le climat, de son côté, constitue une moyenne des conditions météorologiques et de sa variabilité attendue. Celles-ci sont déterminées par certains facteurs tels que le rayonnement solaire (qui varie avec la latitude et la saison); l'influence des caractéristiques dominantes de la couverture nuageuse, des aérosols et d'autres éléments de l'atmosphère sur le flux d'énergie solaire entrant dans l'atmosphère et sur le flux d'énergie thermique qui en sort; les vents dominants et d'autres conditions atmosphériques et; les conditions géophysiques locales qui, généralement, évoluent lentement et d'une façon plus prévisible. Par conséquent, bien que les prévisionnistes soient incapables de prévoir le temps qu'il fera un jour donné dans six mois, ils peuvent fournir de bonnes approximations des variations des climats saisonniers à cause des processus physiques connus à l'origine des changements de conditions, entre l'hiver et l'été par exemple. Ils peuvent aussi fournir des estimés sur les changements de probabilité de divers types d'événements météorologiques, tels que les températures minimales sous zéro, les températures maximales supérieures à 30 °C, les blizzards ou les orages. De même, les modèles climatiques dont la portée dans l'avenir est beaucoup plus grande, prévoient la façon dont les caractéristiques du climat, dont la moyenne est établie sur plusieurs décennies, pourraient changer en fonction des variations projetées des facteurs à l'origine du climat.

D.10

Quelles sont les projections pour ce qui est de l'élévation du niveau de la mer et à quel point sont-elles fiables?

Réponse :

Les spécialistes prévoient, en se basant sur une gamme de scénarios d'émissions, que l'élévation moyenne mondiale du niveau de la mer augmentera de 18 à 59 cm d'ici 2100. Cette hausse résulte principalement des effets combinés de la fonte des glaciers et de l'expansion des eaux des océans à mesure que ces derniers se réchauffent. Le niveau de la mer continuera à augmenter pendant des siècles par la suite. Sur des périodes pluri centenaires, la fonte et l'effondrement dynamique des inlandsis (glaciers continentaux) pourraient constituer un facteur déterminant, susceptible d'entraîner une élévation du niveau de la mer de plusieurs mètres. Toutefois, il existe encore une grande incertitude en ce qui concerne l'ampleur d'une telle réponse et le moment auquel elle se manifesterait. De même, il y a des différences beaucoup plus importantes dans les projections issues des modèles pour ce qui est des changements régionaux relatifs au niveau de la mer, comparativement au changement de la moyenne à l'échelle planétaire.

Explication :

À mesure que les océans se réchauffent, les eaux qu'ils contiennent se dilatent. Ce phénomène à lui seul pourrait entraîner une élévation du niveau de la mer de 10 à 41 cm d'ici 2100, selon l'intensité du réchauffement à la surface de la terre et la vitesse à laquelle l'excédent de chaleur en surface pénètre l'océan. De plus, les glaciers de montagne et les petites calottes glaciaires dans le monde entier devraient continuer à fondre, ce qui ajouterait un autre 7 à 17 cm au niveau de la mer à mesure que l'eau de fonte s'écoulera vers l'océan. Enfin, des changements lents de l'épaisseur et l'étendue des inlandsis polaires pourraient se répercuter sur le niveau de la mer. Toutefois, les contributions positives des inlandsis du Groënland et de l'Antarctique occidental seront vraisemblablement compensées par l'accumulation de neige dans l'Antarctique de l'Est. Ainsi, on s'attend à ce que la contri-

bution nette des inlandsis à l'élévation du niveau de la mer au cours du siècle prochain soit plutôt faible, avec des estimations oscillant entre une diminution de 9 cm et une augmentation de 9 cm. Les spécialistes signalent que la combinaison de ces facteurs pourrait occasionner une élévation de 18 à 59 cm du niveau de la mer d'ici 2100. Il faut cependant noter que cette gamme ne tient pas compte de la réponse du niveau de la mer aux rétroactions du cycle du carbone dans le système climatique. Comme on s'attend à ce que ces rétroactions soient positives, rehaussant la réponse globale des températures face à un scénario donné d'émissions, la partie supérieure de la gamme des valeurs de hausse du niveau de la mer pourrait être sous-estimée. De même, la gamme de hausse du niveau de la mer entre 18 et 59 cm ne tient pas compte de la possibilité de changements rapides des taux d'écoulement de la glace des inlandsis.

Au cours des siècles subséquents, il est probable que le réchauffement continu de l'océan et l'intensification de la fonte de l'inlandsis du Groënland entraînent une élévation additionnelle du niveau de la mer. Même si l'on réussit à stabiliser les concentrations de CO_2 dans l'atmosphère d'ici 2100, la dilatation thermique continue des eaux de l'océan pourrait probablement ajouter un autre 20 à 40 cm aux niveaux de la mer d'ici 2200. Si un réchauffement planétaire de plus de 2 °C au-dessus du niveau pré-industriel se poursuivait sur un millénaire, cela pourrait conduire à la fonte irréversible de l'inlandsis du Groënland, avec une hausse associée du niveau de la mer d'environ 7 m.

D'un autre côté, on s'attend à ce que les changements de volume des inlandsis de l'Antarctique soient moins importants, surtout parce que l'augmentation des chutes de neige sur les dômes des inlandsis dans un climat plus chaud, contrerait probablement le vèlage (décrochement d'icebergs) au niveau des marges glaciaires. Toutefois, la possibilité d'un mouvement soudain et d'un effondrement éventuel de l'inlandsis de l'Antarctique occidental (voir le point D.11) existe encore. La fonte totale de l'inlandsis de l'Antarctique occidental ajouterait au moins 5 m aux niveaux globaux de la mer.

Référence : Meehl et coll., 2007.

D.11

Est-il probable que des changements catastrophiques abrupts surviennent dans le climat?

Réponse :

Parmi les changements abrupts et catastrophiques qui pourraient survenir dans le système climatique, on compte un effondrement de l'inlandsis de l'Antarctique occidentale, une interruption du système de circulation en eau profonde de l'océan Atlantique qui est à l'origine du Gulf Stream, ainsi qu'une rapide rétroaction positive du cycle du carbone induite par la fonte des hydrates surgelés sous le fond de l'océan. La plupart des spécialistes s'entendent sur le fait que les risques de tels phénomènes potentiellement catastrophiques au cours du siècle prochain sont plutôt faibles. Toutefois, ces risques deviennent de plus en plus importants à mesure qu'augmentent le taux et l'ampleur du réchauffement planétaire futur.

Explication :

Des études sur l'histoire climatologique de la terre montrent que le climat a subi des changements abrupts et catastrophiques par le passé, tout particulièrement au cours des périodes de transition climatique entre des états froids et plus chauds. Par exemple, il y a des preuves qu'un rejet abrupt de CH_4 par des hydrates en état de décongélation sous le fond de l'océan peut avoir occasionné un réchauffement climatique soudain de grande envergure il y a de cela des millions d'années. De même, au cours de la dernière partie de la période glaciaire la plus récente, et de la déglaciation subséquente, l'interruption abrupte du système de circulation océanique en eaux profondes de l'océan Atlantique (qui amène les eaux tropicales tièdes vers le nord, à la surface – ce qu'on appelle le Gulf Stream – et renvoie les eaux froides vers le sud, dans les courants profonds de l'océan) est survenue à des intervalles réguliers. Ces événements, probablement déclenchés par des rejets périodiques et soudains d'eau douce, de glace de glacier ou d'eaux de fonte dans l'Atlantique Nord, semblent avoir provoqué des variations de température autour de l'Atlantique Nord de l'ordre de 10 °C en quelques décennies. Enfin, il y a des preuves que l'inlandsis de l'Antarctique occidentale est instable et pourrait, s'il est exposé à un réchauffement de forte intensité, commencer à avancer rapidement dans l'océan austral. Cette désintégration de l'inlandsis pourrait faire augmenter les niveaux de la mer jusqu'à 1 m par siècle, et de 5 à 6 m s'il s'est complètement décimé. Par contre, tant les inlandsis de l'Antarctique oriental que ceux du Groënland sont dynamiquement beaucoup plus stables et changent beaucoup plus graduellement (voir le point D.10).

Un grand degré d'incertitude demeure en ce qui concerne les mécanismes associés à ces événements et, par conséquent, sur la probabilité et la durée de ces transitions. La raison de cette incertitude est que le système climatique englobe bon nombre de processus et de rétroactions qui interagissent de manières complexes et non linéaires. Ces interactions peuvent donner lieu à des seuils particuliers dans le système climatique qui sont susceptibles d'être dépassés si le système est perturbé suffisamment. Bien qu'il soit très difficile de déterminer ces seuils, on craint que de telles surprises catastrophiques puissent se répéter si le climat est trop rapidement poussé vers des conditions plus chaudes. Des simulations par modèle suggèrent que plus les gaz à effet de serre et les températures planétaires augmentent rapidement, plus les risques sont grands que se produisent de tels événements extrêmes à l'échelle planétaire. Une fois que ces événements auraient lieu, il faudrait des siècles, voire des millénaires, au système climatique pour se rétablir. La plupart des spécialistes conviennent que le risque que ces événements catastrophiques surviennent au cours du siècle prochain est très faible. Cependant, selon l'ampleur du réchauffement au cours du prochain siècle, des processus catastrophiques et essentiellement irréversibles (aux échelles temporelles humaines) pourraient être déclenchés.

Références : Meehl et coll., 2007; Zhang, 2003.

D.12 Avons-nous sous-estimé le changement climatique futur

Réponse :

Des évaluations internationales sur les risques découlant du changement climatique se sont concentrées sur les résultats des modèles climatiques couplés et forcés avec des changements projetés de concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols issues des scénarios d'émission du GIEC (RSSE). Ces résultats suggèrent qu'il est peu probable que le réchauffement d'ici 2100 soit inférieur à 1,1 °C ou supérieur à 6,4 °C. Cependant, certaines études ont laissé entendre que ces résultats sous-estiment l'ampleur éventuelle de la réponse des systèmes climatiques au forçage radiatif. Par exemple, une forte rétroaction positive dans le cycle global du carbone, en raison de la réaction de la végétation à des climats plus chauds et à une configuration modifiée des précipitations, pourrait ajouter de manière significative à l'ampleur du réchauffement d'ici 2100, tel qu'il est prévu dans les récentes évaluations du GIEC. De même, des réponses abruptes du système climatique, telles que celles qui sont traitées au point D.11, pourraient entraîner des surprises. Bien que ces projections d'un plus grand risque demeurent incertaines et controversées, elles suggèrent que le haut de la gamme des projections de changements du GIEC d'ici 2100, est plus certain que la bas de la gamme. Par conséquent, il est plus probable que l'ampleur du réchauffement climatique futur soit sous-estimée que surestimée.

Explication :

Les spécialistes ont estimé qu'une gamme probable de la sensibilité du climat à un doublement de CO₂ se situerait entre 2 à 4,5 °C. Toutefois, des études de probabilité qui utilisent des milliers de simulations issues de modèles climatiques couplés simples qui explorent la gamme complète des paramétrisations plausibles du système climatique, proposent une probabilité de 5 % que la sensibilité du climat soit inférieure à 2 °C par doublement du CO₂ et une probabilité semblable qu'elle soit supérieure à 8 °C par doublement. Ainsi, il est très possible que la limite maximale de la sensibilité du climat soit supérieure à 4,5 °C. De plus, certaines études ont projeté que les écosystèmes terrestres pourraient devenir une source principale de CO₂ si d'importants écosystèmes deviennent secs en raison de climats plus chauds, et donc de plus en plus vulnérables aux feux incontrôlés et à une respiration améliorée des sols. Cela conduirait les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère à augmenter plus rapidement que ce qui est projeté dans les analyses traditionnelles des scénarios RSSE, ce qui accélérerait le changement climatique. Il y a aussi la possibilité que la couverture de glace de mer de l'océan Arctique atteigne un seuil où elle pourrait disparaître plus rapidement que les modèles ne le prévoient. Cela augmenterait également la sensibilité du climat, étant donné que la perte de couverture de glace est une rétroaction positive dans le système climatique. Ainsi, bien que les évaluations du GIEC suggèrent que le réchauffement planétaire d'ici 2100 sera de l'ordre de 1,1 à 6,4 °C, ces études ainsi que d'autres preuves suggèrent qu'il y a un risque qu'il soit encore plus élevé.

Certains spécialistes ont aussi laissé entendre que, en raison de la surestimation de l'effet de rétroaction de la vapeur d'eau, le réchauffement pourrait être moindre que la valeur inférieure minimale proposée par le GIEC. Toutefois, les données d'observation d'une part et des évaluations méticuleuses de ces arguments théoriques d'autre part suggèrent que cette situation est peu probable. Au moins, nous pouvons conclure que le risque de sous-estimer l'ampleur et le taux du réchauffement climatique futur est probablement plus élevé que le risque de les surestimer.

Référence : Meehl et coll., 2007.

E. Impacts du changement climatique

E.1 Les températures de la planète se sont élevées de moins de 0,8 °C au cours des 100 dernières années. Cette variation est de beaucoup inférieure aux variations interannuelles. Pourquoi faudrait-il alors s'en préoccuper?

Réponse : La variabilité naturelle du climat peut être source d'écarts importants d'une année et d'une région à l'autre. Le réchauffement de 0,74 °C observé entre 1906 et 2005 est néanmoins une tendance à long terme de la moyenne planétaire de toutes ces variations dans l'espace et dans le temps. Des spécialistes font remarquer que les températures moyennes de l'hémisphère Nord au cours des 50 dernières années ont probablement été plus élevées que jamais elles ne l'ont été, au moins pour ce qui est des 1 300 dernières années. En comparaison, il n'a fallu qu'un réchauffement d'environ 4 à 7 °C pour que la terre passe lentement de la dernière époque glaciaire d'il y a 15 000 ans environ, alors que d'importantes masses de glace couvraient ce qui est maintenant le Canada, aux conditions interglaciaires actuelles.

Explication : La variabilité naturelle du climat peut faire en sorte qu'une région du globe se réchauffe de plusieurs degrés par rapport à l'année précédente, tandis qu'une autre se refroidit d'autant. Mais, si l'on établit la moyenne de cette variabilité à l'échelle planétaire, une partie considérable de cette variabilité spatiale est retirée des mesures. De même, le fait d'établir la moyenne des conditions météorologiques au fil du temps a aussi pour effet de réduire la variabilité du climat d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre. Les tendances signalées de la température représentent une variation à long terme et à l'échelle planétaire. Des spécialistes mentionnent que la température moyenne de l'hémisphère Nord au cours des 50 dernières années est maintenant *fort probablement* supérieure à celle de toute autre période semblable au cours des 500 dernières années, et *probablement* sans précédent au cours des 1 300 dernières années (voir la figure C.4). En comparaison, l'écart de température entre le dernier maximum glaciaire, il y a 15 000 ans environ, et la température actuelle est de l'ordre de 4 à 7 °C. Ce changement de température a provoqué une transformation du paysage canadien qui est passé d'une immense nappe glaciaire de plusieurs kilomètres d'épaisseur à la mosaïque d'écosystèmes productifs actuels.

Référence : Jansen et coll., 2007.

E.2 Quelles pourraient être les conséquences d'un réchauffement de quelques degrés?

Réponse : Un réchauffement climatique à l'échelle planétaire, même de peu d'importance, modifierait de manière significative la configuration des vents et des précipitations dans le monde entier, et donc altérerait les conditions météorologiques locales à l'échelle planétaire par rapport à ce que nous connaissons actuellement. Certains de ces changements seraient irréversibles. Même si les écosystèmes et les sociétés humaines se sont adaptés aux conditions climatiques qui prévalent actuellement ou qui existaient dans un passé récent, ils seraient mal préparés à s'adapter à ces changements si ceux-ci sont trop rapides. Dans bon nombre de pays en développement, cela aurait des effets très dévastateurs sur les besoins humains considérés primaires comme un endroit où habiter, des aliments pour se nourrir et de l'eau propre à boire, ainsi que sur leur capacité à vivre une vie en santé. Une fréquence accrue d'épisodes météorologiques majeurs accroîtrait le risque de catastrophes liées au temps dans tous les pays.

Explication : Les écosystèmes évoluent lentement en réponse aux changements des conditions moyennes et à la variabilité du climat passé. Un grand nombre d'espèces, notamment la plupart des arbres, réagissent très lentement, alors que d'autres qui ont une durée de vie plus courte peuvent réagir et évoluer plus rapidement. Comme les espèces individuelles vont réagir à des vitesses différentes aux conditions changeantes de l'environnement, il est probable que le fonctionnement des écosystèmes soit

dérangement étant donné que les relations entre les espèces pourraient être perturbées. Certaines espèces ont des niches climatiques spécifiques qui pourraient disparaître, les rendant vulnérables à l'extinction. De même, l'infrastructure socioéconomique et la culture des sociétés humaines sont étroitement adaptées au climat dans lequel elles ont évolué et il leur serait difficile de s'adapter rapidement à un changement brusque du climat. Ainsi, un réchauffement rapide ou important augmenterait considérablement les risques de catastrophes économiques liées aux conditions climatiques. Les experts prévoient aussi des épisodes météorologiques extrêmes plus longs et plus fréquents, comme de fortes pluies, des sécheresses, des inondations et des tempêtes importantes, dont les impacts sur les humains et les écosystèmes naturels pourraient être appréciables et accroître le risque de désastres économiques liés aux conditions météorologiques. Par exemple, des vagues de chaleur plus longues et plus fréquentes pourraient accroître le nombre de décès causés par le stress thermique. Des sécheresses plus fréquentes et plus graves pourraient accroître le risque de famine, en particulier dans les régions tropicales et subtropicales arides et semi-arides. Le réchauffement planétaire devrait aussi accroître les possibilités de propagation de maladies infectieuses, comme la malaria, la dengue et la fièvre jaune, par l'expansion de l'aire favorable à la survie des organismes porteurs de ces maladies.

Le GIEC a résumé les connaissances au sujet de la vulnérabilité des sociétés et des écosystèmes face aux impacts du changement climatique en cinq raisons de s'inquiéter (voir la figure E.2). Même s'il y a des incertitudes en ce qui concerne les seuils de changement de température à partir desquels différents types d'impacts se produiraient, il y a toutefois beaucoup de confiance dans la relation générale entre des impacts qui deviennent de plus en plus négatifs à mesure que les températures montent. Des preuves scientifiques récentes ont renforcé les raisons de s'inquiéter du changement climatique et fourni des éléments qui appuient le fait que certains impacts négatifs se produisent à des seuils de changement de température plus bas que ce qu'on croyait auparavant.

Reference: GIEC 2007E

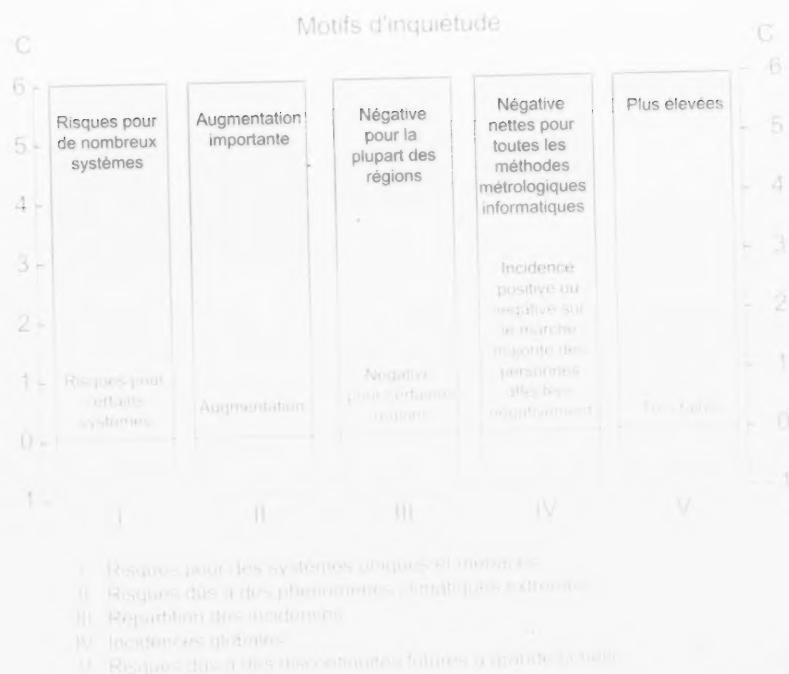


Figure E.2 À ce jour, certains impacts négatifs se sont déjà produits dans certaines régions en réponse au réchauffement, l'augmentation des cas de mortalité chez l'homme, la perte de glaciers, l'augmentation des sécheresses et du niveau de l'océan (événements extrêmes). Un faible réchauffement pourrait être relativement inoffensif pour certains écosystèmes, mais en attendant que la température planétaire augmente, on s'attend à ce que les impacts deviennent de plus en plus négatifs à toutes les échelles. (GIEC, 2001, figure SPM.2, panneau de droite)

dérangé étant donné que les relations entre les espèces pourraient être perturbées. Certaines espèces ont des niches climatiques spécifiques qui pourraient disparaître, les rendant vulnérables à l'extinction. De même, l'infrastructure socioéconomique et la culture des sociétés humaines sont étroitement adaptées au climat dans lequel elles ont évolué et il leur serait difficile de s'adapter rapidement à un changement brusque du climat. Ainsi, un réchauffement rapide ou important augmenterait considérablement les risques de catastrophes économiques liées aux conditions climatiques. Les experts prévoient aussi des épisodes météorologiques extrêmes plus longs et plus fréquents, comme de fortes pluies, des sécheresses, des inondations et des tempêtes importantes, dont les impacts sur les humains et les écosystèmes naturels pourraient être appréciables et accroître le risque de désastres économiques liés aux conditions météorologiques. Par exemple, des vagues de chaleur plus longues et plus fréquentes pourraient accroître le nombre de décès causés par le stress thermique. Des sécheresses plus fréquentes et plus graves pourraient accroître le risque de famine, en particulier dans les régions tropicales et subtropicales arides et semi-arides. Le réchauffement planétaire devrait aussi accroître les possibilités de propagation de maladies infectieuses, comme la malaria, la dengue et la fièvre jaune, par l'expansion de l'aire favorable à la survie des organismes porteurs de ces maladies.

Le GIEC a résumé les connaissances au sujet de la vulnérabilité des sociétés et des écosystèmes face aux impacts du changement climatique en cinq « raisons de s'inquiéter » (voir la figure E.2). Même s'il a des incertitudes en ce qui concerne les seuils de changement de température à partir desquels différents types d'impacts se produiront, il y a toutefois beaucoup de confiance dans la relation générale entre des impacts qui deviennent de plus en plus négatifs à mesure que les températures montent. Des preuves scientifiques récentes ont renforcé les raisons de s'inquiéter du changement climatique et fourni des éléments qui appuient le fait que certains impacts négatifs se produisent à des seuils de changement de température plus bas que ce qu'on croyait auparavant.

Référence : GIEC 2007d.

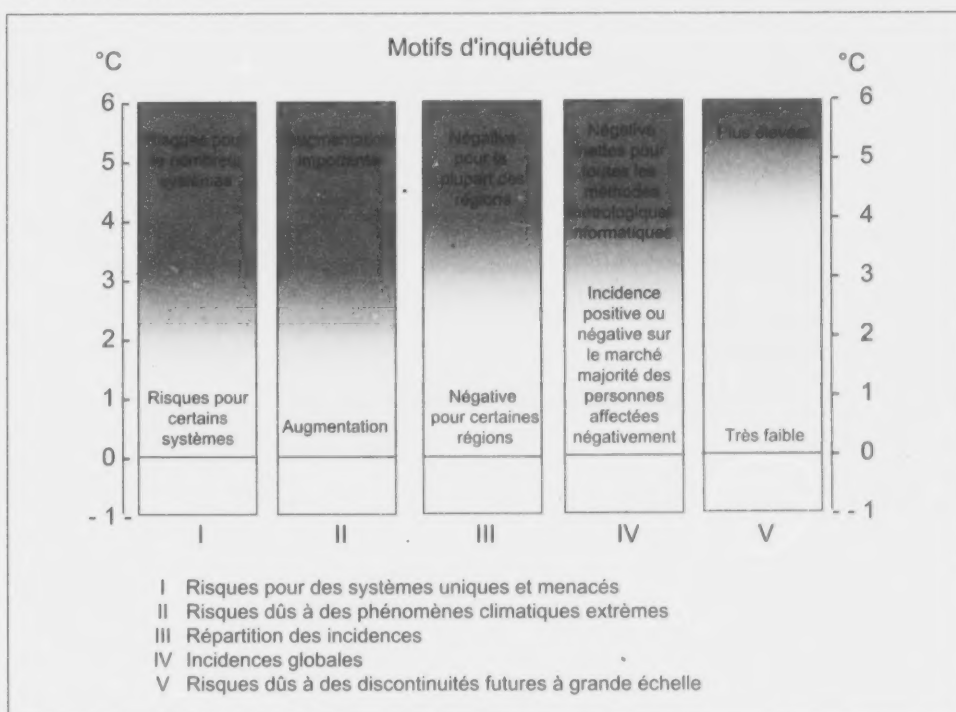


Figure E.2. À ce jour, certains impacts négatifs se sont déjà produits dans certaines régions en réponse au réchauffement (ex. augmentation des cas de mortalité chez l'homme, pertes de glaciers, augmentation dans la fréquence et/ou l'intensité d'événements extrêmes). Un faible réchauffement pourrait être relativement avantageux pour certaines régions, mais au fur et à mesure que la température planétaire augmente, on s'attend à ce que les impacts deviennent de plus en plus négatifs, ceci à toutes les échelles. (GIEC, 2001, figure SPM-2, panneau de droite).

E.3 **Quelles seraient les répercussions de l'élévation planétaire des niveaux de la mer sur les personnes?**

Réponse : Les spécialistes prévoient que le niveau moyen de la mer à l'échelle planétaire s'élèvera de 18 à 59 cm d'ici 2100 (voir le point D.10). Puisque 50 à 70 % de la population mondiale habite dans des basses terres côtières, des millions de personnes sont déjà vulnérables aux inondations côtières dues aux ondes de tempête. Une augmentation du niveau de la mer de l'ordre mentionné ci-dessus toucherait des millions de personnes additionnelles. La mise en place de mesures de protection, telles que la construction de digues, ne peut aider à réduire le risque que dans certaines de ces zones, mais ces mesures seraient coûteuses.

Explication : Aujourd'hui, plusieurs millions de personnes sont déjà confrontées au risque d'inondation dans les basses terres côtières, où l'on retrouve de 50 à 70 % de la population mondiale. Les effets combinés d'une élévation importante du niveau de la mer et l'accroissement de la population dans les zones côtières feraient augmenter considérablement ce chiffre. Des mesures d'adaptation, comme la construction ou l'amélioration de murs de protection ou de digues, permettraient de réduire les impacts sur ces personnes, mais de telles mesures seraient coûteuses. Par exemple, on estime que la protection des côtes américaines coûterait entre 20 et 150 milliards de dollars américains.

En outre, malgré la mise en œuvre de ces mesures de protection, une modeste élévation de 40 cm du niveau de la mer laisserait quand même 80 millions de personnes toujours vulnérables aux inondations côtières lors d'ondes de tempête.

Bien que les côtes canadiennes soient relativement accidentées, et donc moins vulnérables aux impacts d'une hausse du niveau de la mer que celles de plusieurs autres pays, il n'en demeure pas moins que certaines parties de ce littoral océanique, qui s'étire sur quelques 240 000 km, sont constituées de terres basses et/ou friables et donc sensibles à l'érosion. Les régions très sensibles du littoral canadien incluent une bonne partie des provinces maritimes, de la côte de la Mer de Beaufort, ainsi que la région du delta de la rivière Fraser en Colombie-Britannique.

Références : Nichols et coll., 2007; Ressources Naturelles Canada, 2004.

E.4 **La fréquence et l'intensité des catastrophes provoquées par des événements météorologiques extrêmes semblent avoir une tendance à la hausse. Cela est-il lié au changement climatique?**

Réponse : Il est très difficile d'établir des tendances pour les catastrophes liées aux événements météorologiques extrêmes ou d'attribuer les catastrophes récentes à des causes particulières. En d'autres mots, l'augmentation des catastrophes que l'on semble observer dans certaines parties du monde ces dernières années pourrait être inexacte ou être entièrement naturelle. Il n'y a pas de preuves certaines qui démontrent que les catastrophes récentes résultent déjà du réchauffement climatique. Cependant, des études laissent entendre que la fréquence et la sévérité de nombreux types d'événements météorologiques extrêmes vont augmenter à mesure que le climat se réchauffera. Par conséquent, bon nombre de ces catastrophes peuvent être perçues comme des exemples de ce qui arrivera plus fréquemment à l'avenir à mesure que le climat planétaire continuera de se réchauffer.

Explication : Une catastrophe d'origine météorologique peut survenir lorsque la société ou les écosystèmes ne sont pas en mesure de réagir efficacement à un événement météorologique extrême. Le caractère extrême de l'événement et la sensibilité des écosystèmes ou de la société face à cet événement sont donc tous les deux des facteurs à considérer. La hausse extrêmement importante des dommages notée ces dernières années après de telles catastrophes peut donc s'expliquer, du moins en partie, par des facteurs démographiques, notamment un accroissement de la population dans des régions vulnérables et par une richesse accrue.

D'un autre côté, il semble y avoir eu augmentation de divers types d'événements météorologiques extrêmes, du moins dans certaines régions du monde. Toutefois, puisque ces épisodes sont, par définition, peu fréquents et irréguliers, il est difficile d'établir des liens avec des causes planétaires. Ils peuvent tout simplement être le résultat de variations naturelles du climat. Les spécialistes

conviennent qu'il est encore trop tôt pour avoir confiance en l'existence d'un lien direct entre le changement climatique et ces événements extrêmes. En outre, peu de ces événements sont sans précédent historique et, si l'on fait exception des dernières décennies, les registres historiques ne sont pas très exacts.

Il faut cependant noter, qu'à bien des égards, la tendance à des extrêmes plus intenses et inhabituels pour certains types d'événements météorologiques et climatiques dans certaines régions au cours des dernières années est largement semblable à celle qu'ont prévue les modèles climatiques et les études connexes. Par conséquent, bien qu'il n'y ait aucune preuve scientifique solide permettant de lier cette tendance récente des catastrophes au changement climatique, beaucoup de ces événements peuvent être considérés comme des exemples de ce qui pourrait arriver plus fréquemment à l'avenir.

Référence : Hegerl et coll., 2007.

E.5 Pourquoi le réchauffement planétaire donnerait-il lieu à des événements météorologiques plus fréquents et plus extrêmes?

Réponse : Des températures plus élevées se traduisent par des taux d'évaporation et de précipitation plus importants, des vagues de chaleur plus fréquentes, des extrêmes de froid moins fréquents et, de façon générale, par plus d'énergie pour les tempêtes. Les résultats des modèles peuvent fournir des indices utiles quant à la direction et l'importance de ces changements, mais les processus impliqués sont complexes et il est difficile de prévoir avec exactitude les variations des extrêmes.

Explication : La plupart des événements extrêmes sont des réponses complexes à divers facteurs de sorte que leur réaction à des climats plus chauds est difficile à évaluer. Cependant, à mesure que la terre se réchauffera, les experts prévoient que les extrêmes de températures élevées seront plus fréquents, que ceux des températures froides le seront moins et que plus de précipitations tomberont en des périodes plus courtes. Cela devrait accroître la fréquence des fortes précipitations très intenses de même que celle des inondations locales. Il y aura aussi, dans certaines régions, une augmentation des tornades et des orages violents et de leurs phénomènes associés qui sont le vent et la grêle. On prévoit aussi que plusieurs régions du monde subiront des sécheresses plus fréquentes, plus longues ou de plus forte intensité à cause de l'évaporation plus rapide de l'eau des plantes, des sols, des lacs et des réservoirs. Une humidité atmosphérique accrue pourrait aussi se traduire par une augmentation de l'intensité et de la fréquence des blizzards et des tempêtes de neige dans certaines zones plus froides. Dans les latitudes plus tempérées, leur fréquence diminuera probablement, mais leur intensité devrait augmenter. Le changement climatique aura donc pour effet de « piper les dés » en ce qui touche la probabilité de tels événements extrêmes. Les avis diffèrent encore passablement en ce qui touche la façon dont le réchauffement planétaire influera sur d'autres événements météorologiques extrêmes, comme les tempêtes tropicales, les cyclones et les typhons, bien que l'on prévoie une augmentation de l'intensité maximale possible de ces tempêtes.

Référence : Meehl et coll., 2007.

E.6 Le réchauffement planétaire sera-t-il graduel ou rapide?

Réponse : La plupart des études par modélisation climatique suggèrent que la réaction du climat aux influences humaines sera graduelle. Les faits montrent cependant que le climat de la terre a déjà changé de façon abrupte par le passé, surtout pendant les périodes glaciaires ou au cours des principales périodes de transition où le climat passait d'un état à un autre. Par conséquent, bien qu'improbables au cours du siècle prochain, de tels changements soudains ne peuvent être exclus (voir point D.11).

Explication : Les données paléoclimatiques montrent clairement que le système climatique a subi des variations soudaines et d'une grande ampleur pendant le dernier maximum glaciaire et de la déglaciation qui s'est produite au cours de la période des 10 000 à 15 000 ans passés. Cela semble se produire lorsque le système climatique est instable et cela aurait eu des répercussions importantes sur les climats à l'échelle régionale. Par exemple, on a noté des variations de la température au Groënland pouvant atteindre jusqu'à 10 °C en quelques décennies. Des variations climatiques si brusques n'ont

pas été observées au cours des 10 000 dernières années du climat stable de l'holocène. Certains scientifiques se sont cependant inquiétés du fait qu'une variation climatique rapide découlant d'activités humaines pourrait rendre le système instable et déclencher de nouveau de tels événements brusques. Bien que cela s'avère peu probable, du moins pour le siècle prochain, cette possibilité ne peut être exclue. Ces événements soudains semblent être reliés à des changements dans la circulation océanique, et le risque que cela se reproduise semble s'accroître avec l'augmentation de la vitesse de changement du climat à l'échelle planétaire. Les conséquences éventuelles pourraient être catastrophiques étant donné qu'un changement rapide ne laisse que peu de temps pour s'adapter.

Référence : Jansen et coll., 2007.

E.7 Un climat plus chaud ne serait-il pas favorable aux Canadiens et aux Canadiennes?

Réponse : Pour les pays froids, tels que le Canada, le changement climatique pourrait avoir des avantages appréciables. Par exemple, des températures plus chaudes se traduiraient par une réduction des coûts de chauffage et une saison de croissance plus longue et plus chaude. Si l'on faisait la moyenne sur l'ensemble du pays, ces avantages pourraient annuler une partie ou l'ensemble des effets nocifs du changement climatique à condition que la vitesse et l'ampleur du changement soient modérées. Mais si le changement climatique est rapide ou important, les risques augmentent de façon notable et l'effet global sur un pays comme le Canada serait de plus en plus défavorable, simplement parce qu'il est plus difficile de s'adapter à un changement important ou rapide. En outre, d'importants effets négatifs sont prévus pour un grand nombre de pays en développement, même à la suite de faibles changements du climat. Ces incidences à l'étranger pourraient avoir des conséquences défavorables indirectes, mais appréciables, pour les Canadiens et les Canadiennes (voir E.8).

Explication : Un climat légèrement plus chaud serait avantageux pour certains secteurs de l'économie ou de la société et pour certaines régions du monde. Ainsi, des saisons de croissance plus longues et plus chaudes accroîtraient la productivité des cultures, en autant que le taux d'humidité soit suffisant, et des hivers plus chauds réduiraient les coûts de chauffage et faciliteraient la navigation dans les eaux couvertes de glaces. La plus grande partie de ces avantages découle de la modification des températures moyennes.

Par contre, on s'attend à ce que d'autres conséquences du changement climatique soient très nuisibles. On compte, parmi celles-ci : les effets combinés de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête océaniques qui pourraient s'avérer dévastateurs des points de vue économique et écologique pour certaines des régions côtières du Canada; des conditions de sécheresse estivales plus prononcées, lesquelles pourraient constituer une menace pour la production agricole et les écosystèmes naturels et accroître la concurrence pour obtenir de l'eau; une augmentation de l'intensité des pluies d'été qui augmenterait les fortes inondations et phénomènes d'érosion, parfois dans les mêmes régions qui subissent la sécheresse; et une augmentation de la fréquence des extrêmes de températures élevées qui pourraient entraîner des stress pour les écosystèmes et les populations humaines.

Plus le changement dans les climats sera rapide ou important, plus il sera difficile d'en tirer avantage et plus grand est le risque de danger associé aux événements extrêmes et autres modifications nuisibles. L'inquiétude ne vient donc pas d'un changement climatique en tant que tel, mais de la possibilité que la vitesse et l'ampleur du changement dépassent les seuils de tolérance des humains et des écosystèmes.

Références : Field et coll., 2007; Anisimov et coll., 2007; Ressources naturelles Canada, 2004.

E.8 Quelles sont les raisons principales pour lesquelles les Canadiens et les Canadiennes devraient se préoccuper du changement climatique?

Réponse : Bien que le changement climatique aura une incidence sur les écosystèmes et les sociétés du Canada de plusieurs façons complexes, les raisons principales pour lesquelles les Canadiens et les

Canadiennes devraient s'en préoccuper sont les répercussions d'un monde plus chaud sur l'environnement et les écosystèmes du Nord du Canada, les conséquences économiques et écologiques de sécheresses plus longues et plus sévères et les répercussions de conditions météorologiques extrêmes plus fréquentes et/ou plus intenses sur la vie et les biens humains. En outre, les Canadiens et les Canadiennes devraient se préoccuper également des impacts du changement climatique sur d'autres pays, surtout ceux qui font déjà face à des problèmes sérieux de pauvreté, de famine et d'autres risques pour la santé.

Explication : Les systèmes sociaux et écologiques canadiens sont bien adaptés au climat et aux conditions météorologiques actuelles. Le changement climatique aura donc une incidence sur presque tous les secteurs de la société canadienne et modifiera de manière significative les régimes écologiques dans l'ensemble du pays. Un tel changement comporte plusieurs aspects qui sont particulièrement préoccupants. Tout d'abord, des climats plus chauds feront fondre la neige, le pergélisol et la glace de mer dans toutes les régions du nord du Canada. Cela modifiera radicalement l'environnement dont dépendent actuellement les écosystèmes et les habitants du nord. Bien que le transport maritime dans l'Arctique puisse éventuellement devenir plus aisé, le transport terrestre qui dépend des pergélisols sera de plus en plus contraint, les cultures traditionnelles qui font appel à la glace de mer et au pergélisol pour la chasse seront compromises et, les espèces animales qui dépendent de la glace pourraient être de plus en plus menacées de déclin et d'une possible extinction. Dans le sud du Canada, les préoccupations principales ont trait aux événements et aux conditions météorologiques et climatiques extrêmes, en particulier les sécheresses prolongées, une augmentation des inondations majeures à l'échelle locale ainsi que des épisodes de vents violents.

Le Canada s'est aussi distingué historiquement par sa contribution envers les personnes en difficulté dans d'autres pays du monde. Les spécialistes soutiennent que le besoin d'aide internationale augmentera radicalement sous des climats plus chauds, même dans le cas d'hausses modestes de température (voir les points E.2 et E.3). Par conséquent, le Canada sera probablement appelé à étendre son aide à ces victimes, soit par une assistance directe, soit par une assistance dans la résolution de conflits connexes, à l'intérieur et entre les pays, et en accueillant les personnes devant être déplacées de leurs pays d'origine en raison de la perte de leurs biens et de leur maison ou des troubles sociaux connexes.

Références : Field et coll., 2007; Anisimov et coll., 2007; Ressources naturelles Canada, 2004.

E.9 J'ai entendu dire que, d'ici 50 ans, l'élévation des températures permettrait à Halifax d'avoir un climat comme celui de Boston actuellement, à Toronto comme celui du Kentucky et à Vancouver comme celui de San Francisco. Faut-il s'en plaindre?

Réponse : Les écosystèmes, la culture et les infrastructures socioéconomiques du Canada ont été modélisés par le climat actuel ou celui qui prévalait dans un passé récent. La modification de ces infrastructures en fonction d'un climat plus chaud et des conditions météorologiques connexes pourrait s'avérer très coûteuse. Si le changement climatique se produit rapidement, le processus d'adaptation devient de plus en plus difficile, coûteux et possiblement infructueux, ce qui peut conduire à des risques de catastrophes importantes. Cela vaut aussi pour l'environnement naturel.

Explication : Le développement passé des infrastructures des villes canadiennes, des réseaux de transport, des pratiques agricoles et d'autres activités d'ordre social ou économique a été fortement influencé par les conditions climatiques locales qui prévalaient alors. Ainsi, la plupart des installations et des activités de sports d'hiver au Canada dépendent de la présence de neige et de glace. Les égouts pluviaux et les réseaux d'évacuation des eaux des villes canadiennes ont été conçus en fonction, notamment, du régime des précipitations locales et, les immeubles résidentiels et commerciaux l'ont été en fonction d'un climat allant de tempéré à froid. De même, l'agriculture, la gestion des ressources en eau et les infrastructures de régularisation des crues sont fonction de la saison de croissance et des caractéristiques des ressources hydriques actuelles. Bon nombre de ces structures et activités exigent de longs délais pour être à même de se préparer à de futurs changements du climat. Par conséquent, plus le

changement de climat est rapide, plus les problèmes d'adaptation des infrastructures culturelles, sociales et économiques aux nouvelles conditions climatiques sont grands et plus le risque d'un échec de l'adaptation, et de ses conséquences néfastes, est important.

E.10

Selon les rapports, certains des plus importants changements dus au réchauffement planétaire se produiront dans des pays nordiques, comme le Canada. Est-ce que cela signifie que nous serons plus touchés que les pays situés à proximité de l'équateur?

Réponse : Non. Il est vrai que les modèles climatiques indiquent que les changements de température seront probablement les plus importants sous les latitudes élevées et pendant l'hiver. Par conséquent, l'ampleur du changement climatique au Canada sera sans doute plus importante que dans beaucoup d'autres pays. Cependant, comme le climat canadien actuel varie déjà beaucoup d'une semaine, saison ou année à l'autre, les Canadiens et les Canadiennes pourraient être mieux préparés pour affronter la variabilité et le changement climatique que ceux qui habitent dans des régions où les climats sont moins variables. De plus, un réchauffement modeste nous permettrait de tirer certains avantages et de compenser certains des effets nuisibles (bien que les avantages et les effets nuisibles puissent être subis par différentes régions, secteurs économiques ou communautés). Comme peuple, nous pourrions donc être moins vulnérables au changement climatique que bien d'autres, surtout ceux qui habitent dans des pays tropicaux pauvres. Cependant, à l'intérieur de chaque pays il y a des communautés et des secteurs de l'économie qui sont plus vulnérables que la population ou l'économie en tant que tout.

Explication : Les modèles indiquent que la variation des températures sera la plus importante aux latitudes continentales élevées et pendant l'hiver. Les fluctuations climatiques naturelles sont cependant aussi les plus importantes dans ces régions et en hiver. Par conséquent, les écosystèmes et les sociétés qui se sont développés dans ces régions sont, de façon générale, plus en mesure de tolérer le changement et pourraient être plus aptes à s'adapter aux importants changements prévus pour les prochaines décennies. Tout comme pour n'importe quelle région, la vitesse du changement climatique va être un élément déterminant pour notre capacité à s'adapter aux changements qui viennent. Comme des températures froides sont un facteur limitant pour bon nombre d'écosystèmes et d'activités socioéconomiques au Canada, on s'attend à ce que des climats plus chauds présentent de nombreux avantages. Ceci étant dit, on s'attend à ce que le réchauffement de l'Arctique se traduise par des changements si dramatiques que les habitants du nord, et les espèces des écosystèmes nordiques devront faire face à plusieurs sérieux défis dans les prochaines années. Cependant, le Canada est un pays relativement riche, disposant d'une infrastructure sociale qui peut aider les Canadiennes et Canadiens à s'adapter plus facilement. Au contraire, les sociétés de nombreux pays en développement se trouvant sous de basses latitudes souffrent de précarité et n'ont pas accès aux mêmes ressources. Cela peut les rendre plus vulnérables même à de très petits changements dans le climat. Par conséquent, bien que les importants changements pouvant affecter le Canada prévus par les modèles puissent avoir des impacts appréciables, dont de nombreux seront néfastes, les Canadiens et les Canadiennes pourraient être mieux préparés à faire face aux conséquences du changement climatique que les habitants de bon nombre de pays en développement.

F. Crédibilité scientifique et réaction de l'homme

F.1

On dirait qu'il y a toujours des histoires contradictoires sur le changement climatique dans les médias. N'y a-t-il pas d'accord au sujet du changement climatique entre les scientifiques?

Réponse :

La vaste majorité des scientifiques qui étudient le changement climatique conviennent que les raisons de s'inquiéter sont justifiées sur le plan scientifique. Bien qu'il puisse y avoir des scientifiques individuels qui sont en désaccord avec ce consensus, et dont les opinions peuvent figurer dans les reportages des médias, il est important de considérer quel est l'appui scientifique dont ils disposent pour soutenir leurs arguments. La meilleure approche est de se référer à la littérature scientifique publiée et examinée par les pairs, car un test primordial pour évaluer la crédibilité d'un article est de vérifier s'il a passé à travers le processus d'examen par les pairs (examen par des scientifiques qui ont une expertise pertinente).

Explication :

Chaque année, plusieurs milliers d'articles scientifiques portant sur des sujets liés au changement climatique sont publiés dans la documentation spécialisée, après examen par les pairs. Chaque publication ajoute une petite contribution à la somme importante de connaissances qui existent déjà. Comme le système climatique planétaire est très complexe, ces publications impliquent plusieurs disciplines scientifiques différentes, en plus d'être axées sur une large gamme de processus et de causes probables du changement climatique. Certains de ces processus impliquent des rétroactions négatives qui réduisent la réaction initiale du climat, tandis que d'autres impliquent des rétroactions positives qui l'amplifient. Certaines causes du changement, naturelles ou humaines, ont pour effet de refroidir le climat tandis que d'autres le réchauffent. Chaque nouvel article scientifique doit être mis en contexte avec tout ce qui l'a précédé. La meilleure approche pour évaluer les implications de toute nouvelle science est à travers des évaluations périodiques de la littérature scientifique. De telles évaluations vont être axées sur les découvertes récentes et les mettre en contexte avec ce que l'on a déjà connu et compris d'un sujet donné. Le meilleur processus reconnu pour évaluer la littérature scientifique sur le changement climatique est celui entrepris par le Groupe Intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Parfois, peut être publié un nouvel article scientifique qui semble contredire l'opinion établie. Un tel résultat serait intrinsèquement d'un grand intérêt pour tout scientifique. Le processus scientifique normal verrait de tels résultats scrutés à la loupe par d'autres scientifiques, et il y aurait d'autres recherches d'entreprises en vue de voir si on peut reproduire les résultats. Ce processus de vérification et de reproduction de nouveaux résultats prend du temps et, parfois, le débat concomitant entre les scientifiques est compris à tort par les non scientifiques comme étant un important désaccord entre les scientifiques. Généralement, ce n'est pas le cas. Dans le domaine du changement climatique, il y a certainement des débats entourant les détails et, le besoin de mieux comprendre les particularités liées à comment va réagir le système climatique face à des augmentations de gaz à effet de serre est ce qui pousse les efforts de recherche en cours. Cependant, les informations scientifiques de base qui concernent le changement climatique reposent sur des données beaucoup moins controversées. Un bon résumé de telles informations de base a été présenté récemment dans le Rapport de la quatrième évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, publié en 2007.

References : GIEC, 2007c; GIEC, 2007d.

F.2

Il semble y avoir des milliers de scientifiques qui soutiennent que nos connaissances du changement climatique sont si limitées qu'il est prématuré d'intervenir. Qui sont ces dissidents et sont-ils crédibles?

Réponse : Les chiffres souvent cités en ce qui concerne les scientifiques dissidents ne sont pas appuyés par la littérature publiée dans les champs de recherche scientifique liés à l'étude du changement climatique. Très peu de ces dissidents publient des articles de recherche scientifiques dans ces revues où sont publiés la majorité des articles sur le changement climatique, c'est-à-dire, dans la tribune où les discussions scientifiques doivent se produire. Il est important de considérer avec attention le domaine de travail et le niveau d'expertise de ceux qui se comportent comme étant des sources d'information dans les discussions portant sur le changement climatique. L'examen par des scientifiques qui possèdent une expertise pertinente est une bonne mesure de la crédibilité.

Explication : Au fil du temps, à mesure que les preuves scientifiques en appui au changement climatique induit par l'homme se sont accrues, les arguments avancés par les dissidents ont changé. Bien que quelques dissidents puissent encore argumenter que la tendance au réchauffement planétaire ne soit pas réelle, et que l'influence de l'homme sur le climat n'est pas encore apparente – arguments qui sont facilement réfutés par les publications scientifiques examinées par les pairs – plusieurs axent maintenant leurs arguments sur le taux projeté et les conséquences du futur changement climatique, qui selon eux sont exagérés. Il y a quelques scientifiques qui débattent que la science portant sur le changement climatique est suffisamment incertaine pour que beaucoup de recherches additionnelles soient requises avant que des mesures pour réduire de façon substantielle les émissions de gaz à effet de serre soient prises. Que l'on décide ou non de réagir face à l'incertitude n'est pas une question scientifique, mais plutôt une décision politique qui requiert une approche basée sur la gestion de risques. Les scientifiques, cependant, peuvent fournir des conseils sur la nature des risques et des impacts qui peuvent être associés à différentes ampleurs du réchauffement planétaire (et aux changements climatiques associés). La plupart des dissidents qui possèdent des connaissances scientifiques crédibles sont généralement d'accord avec la science fondamentale qui sous-tend les préoccupations au sujet du changement climatique.

F.3

Si notre connaissance du changement climatique comporte autant d'incertitudes, ne devrions-nous pas reporter les réductions des émissions de CO₂ jusqu'au moment où nous pourrions mieux prévoir ce qui va se passer?

Réponse : L'inquiétude scientifique au sujet du changement climatique est bien-fondée. Plusieurs de ces incertitudes qui demeurent ont trait aux particularités des conséquences du changement climatique à l'échelle planétaire. De façon générale, les scientifiques sont convaincus que les préoccupations à propos du changement climatique sont justifiées sur le plan scientifique, que les humains ont une grande part de responsabilité dans le changement climatique survenu au cours des 50 dernières années, et que les risques relatifs aux projections climatiques sont réels et importants. Des augmentations effrénées des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère seraient catastrophiques. La seule façon de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère est de réduire les émissions planétaires de ces gaz. Quand et comment cela devrait être fait est une décision politique, mais étant donné que le système climatique répond lentement à des changements dans les émissions, il est prudent qu'une démarche préventive soit prise dès maintenant.

Explication : Bien que des incertitudes persistent quant à l'ampleur et la vitesse du changement climatique, surtout à l'échelle régionale, les scientifiques conviennent généralement que la vitesse de changement au cours du siècle prochain sera sans doute supérieure à tout ce que la terre a essuyé au cours des 10 000 dernières années. Plus important encore, la variation pourrait être aussi grande que celle qui est survenue au moment de la déglaciation, à la fin de la dernière ère glaciaire, mais plus de 10 fois plus rapide – soit une expérience sur le système climatique qui pourrait avoir des conséquences hasardeuses. En outre, à cause du long délai de réponse du système climatique aux variations du

forçage radiatif, par le temps que toutes les preuves soient là, il pourrait être trop tard pour échapper à un grave danger. Étant donné que les sociétés et le système climatique planétaire présentent une très grande inertie – en ce qui touche les changements de comportement culturel et de restructuration technologique pour les premières, et en ce qui concerne les changements de forçage radiatif pour le second, toute mesure hâtive s'avère prudente. Le milieu scientifique a recommandé une démarche préventive qui permettra de réduire les risques en ralentissant le taux potentiel de changement climatique.

F.4 Est-il trop tard pour arrêter le changement climatique?

Réponse : Les scientifiques sont d'avis que la tendance actuelle au réchauffement ne peut être ni arrêtée ni inversée. Toutefois, elle peut être ralentie afin de permettre aux systèmes biologiques et aux sociétés humaines de disposer de plus de temps pour s'adapter.

Explication : Il ya deux raisons pour lesquelles un changement climatique additionnel est déjà inévitable. Tout d'abord, le système climatique présente beaucoup d'inertie, surtout à cause de la réaction lente des océans. Cela signifie que le réchauffement des océans n'a pas encore atteint le niveau qu'ils devraient éventuellement atteindre sous l'effet des concentrations de gaz à effet de serre actuelles et qu'ils ont encore, dans une certaine mesure, un effet de refroidissement sur l'atmosphère. Même la réponse de l'atmosphère aux concentrations actuelles de gaz à effet de serre n'est pas encore pleinement atteinte. Si toutes les émissions cessaient dès maintenant, les océans continueraient à se réchauffer pendant plusieurs décennies, jusqu'à ce qu'ils atteignent un nouvel état d'équilibre. Deuxièmement, bien que les émissions de gaz à effet de serre puissent être ralenties à l'échelle planétaire, il faudra un certain temps à l'économie mondiale, fondée sur les combustibles fossiles, de passer à d'autres sources d'énergie. Il est donc inévitable que les émissions, et par conséquent le réchauffement, se poursuivent. Le fait qu'un certain changement climatique additionnel soit inévitable implique que s'adapter au changement climatique est une nécessité. De même, des mesures de réduction sont essentielles pour ralentir et, éventuellement, arrêter cette augmentation dans les émissions planétaires. Aussi longtemps que la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère va augmenter, il va continuer d'y avoir un « forçage positif » - soit un effet de réchauffement – sur le climat. La stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère va exiger une réduction des émissions planétaires des gaz à effet de serre.

F.5 N'est-il pas plus important de s'attaquer d'abord à la pollution de l'air, puisqu'elle comporte des risques pour notre santé qui sont plus immédiats?

Réponse : Il est vrai que les questions relatives à la pollution atmosphérique, telles que le smog et les pluies acides, sont une préoccupation immédiate, alors que les plus importantes répercussions du changement climatique sont plus loin dans l'avenir. Toutefois, les liens multiples et complexes qui existent entre le changement climatique, le smog et d'autres sujets de préoccupation liés à la pollution atmosphérique locale, suggèrent qu'il y a de nombreux avantages à aborder ces questions en même temps. Tout d'abord, les ingrédients essentiels du smog jouent aussi des rôles importants dans le système climatique. L'O₃, par exemple, est un gaz à effet de serre qui contribue au réchauffement climatique. De même, les aérosols fuligineux (à base de suie) absorbent la lumière solaire et ajoutent au réchauffement local. Par contraste, les aérosols sulfatés réfléchissent la lumière solaire et modifient les caractéristiques des nuages à l'échelle locale, ce qui tend à avoir un effet de refroidissement sur le climat. Encore plus important, l'ensemble de ces substances sont rejetées directement ou indirectement par plusieurs des mêmes activités humaines qui rejettent des gaz à effet de serre persistants tels que le CO₂. Ensuite, le changement climatique peut avoir une incidence sur la chimie de l'O₃, étant donné que celle-ci dépend tant des températures atmosphériques que de la quantité de lumière solaire. Il se peut que les sociétés et les écosystèmes touchés par le smog soient déjà perturbés par le changement climatique, et la combinaison de ces effets peut diminuer les seuils critiques à atteindre avant qu'une perte catastrophique ne survienne. Par exemple, une personne âgée qui subit déjà le stress des températures élevées lors d'une vague de chaleur, pourrait souffrir de stress respiratoire additionnel à cause des concentrations élevées de smog dans l'atmosphère.

Explication : La combustion des combustibles fossiles et d'autres sources industrielles d'émissions de gaz à effet de serre sont aussi des sources importantes de précurseurs de l'O₃ troposphérique et de particules qui contribuent à la pollution atmosphérique locale, en particulier du smog. De plus, l'O₃, qui est une composante particulièrement néfaste du smog, est aussi un gaz à effet de serre que l'on considère comme le troisième plus important contributeur à la hausse historique de l'effet de serre. Les aérosols fuligineux présents dans le smog absorbent le rayonnement solaire incident et contribuent ainsi au réchauffement à l'échelle planétaire. La réduction des émissions de ces aérosols réduirait le smog urbain et, du même coup, le réchauffement planétaire. D'un autre côté, certaines autres particules contenues dans le smog, en particulier les aérosols sulfatés, réfléchissent la lumière solaire et altèrent les propriétés des nuages. Ces effets ont une tendance de refroidissement sur le climat. Des mesures qui réduisent les émissions de ces substances, afin d'améliorer la qualité de l'air local, tendent à faire augmenter le réchauffement.

Comme la lumière solaire et les températures de l'atmosphère sont des facteurs importants dans la chimie de l'O₃, l'augmentation des températures et les changements de la couverture nuageuse qui résultent du changement climatique auront une incidence sur la chimie de l'O₃ et, par conséquent, sur l'intensité du smog. De plus, les changements dans la direction des vents et dans la fréquence et l'intensité des précipitations auront une incidence sur le transport d'O₃ et l'efficacité de suppression des particules par les précipitations.

Enfin, le smog a des graves répercussions sur la santé, y compris des augmentations importantes de la mortalité causée par des maladies cardiovasculaires et cardio pulmonaires et par le cancer. En outre, il cause des dommages à la végétation. En général, les effets combinés de ces stress multiples dus au changement climatique et à la pollution de l'air vont augmenter la probabilité de dépasser les seuils critiques de tolérance au stress pour les systèmes écologiques, ce qui augmente la morbidité et la mortalité connexes, surtout parmi les plus vulnérables.

L'existence de tous ces liens entre le changement climatique et la pollution de l'air témoigne en faveur du besoin d'une réponse concertée face au « changement atmosphérique », qui tiendrait compte de comment des actions pour améliorer un problème environnemental peuvent affecter d'autres problèmes. Quand il y a des sources communes de polluants multiples, telle que la combustion de combustibles fossiles, il y a de nombreux bénéfices à réduire de telles activités.

References

- Anisimov O. A., D. G. Vaughan, T. Callaghan, et coll. 2007. « Polar Regions », dans *Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. Parry et coll. (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- Baldwin, M. et M. Dameris. 2007. Climate-Ozone Connections. In Scientific Assessment of Ozone Depletion : 2006. World Meteorological Organization. Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 50.
- Brook, E.J. 2005. « Tiny Bubbles Tell All », dans *Science*, vol. 310, pp. 1285-1287.
- Environnement Canada. 2007a. Les Changements climatiques : manipuler le thermostat de la terre. À l'adresse suivante : http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/scienceofclimatechange/IPCC/earth_thermostat_f.html.
- Environnement Canada. 2007b. Résumé des tendances 1990-2005, Les sources et les puits des gaz à effet de serre au Canada. À l'adresse suivante : http://www.ec.gc.ca/pdb/ghg/inventory_report/2005/2005summary_f.cfm.
- Environnement Canada. 2008. Bulletin des tendances et des variations climatiques : annuelle 2006. À l'adresse suivante : <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/ccrm/bulletin/>.
- Fergusson, A. 2001. *Ozone depletion and climate change : Understanding the linkages*, Toronto, Environnement Canada.
- Field, C. B., L. D. Mortsch, M. Brklacich, et coll. 2007. « North America », dans *Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry, M. et coll. (éd.). Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- Folland, C. K., T. R. Karl, J. R. Christy, R. A. Clarket, et coll. 2001. « Observed Climate Variability and Change », dans *Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C. A. Johnson (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press, 881 p. (mis en forme selon le rapport du GIEC).
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, et coll. 2007. « Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing », dans S. Solomon, D. Qin et coll. (éd.), *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- Gerlach, T.M. 1991. « Present-day CO₂ emissions from volcanoes », dans *Earth and Ocean Science Newsletter*, vol. 72, no 249, pp. 254-256.
- GIEC. 2000. Rapport spécial sur les scénarios d'émissions. Un rapport spécial du groupe de travail III, Cambridge University Press, 570 p.
- GIEC 2001. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [McCarthy, J.J. et coll. (éditeurs.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom et New York, NY, USA.
- GIEC. 2007a. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon et coll. (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- GIEC. 2007b. « Résumé à l'intention des décideurs », dans *Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M. Parry, et coll. (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- GIEC. 2007c. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miler (éditeurs.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom et New York, NY, USA.
- GIEC. 2007d. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (éditeurs.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Hansen, J. Nazarenko, L., Ruedy, R, et coll. 2005. « Earth's Energy Imbalance : Confirmation and Implication », dans *Science*, vol. 308, n° 5727, pp. 1431-1434.

- Hegerl, G.C., F. W. Zwiers, P. Braconnot, et coll. 2007. « Understanding and Attributing Climate Change », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon et coll. (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- Jansen, E., J. Overpeck, K.R. Briffa, et coll. 2007. « Paleoclimate », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon et coll. (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- Kharin, V.V., F.W. Zwiers, X. Zhang et G.C. Hegerl. 2007. Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations. *Journal of Climate*, vol. 20, pp 1419-1444.
- Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, et coll. 2007. « Historical Overview of Climate Change Science », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon et coll. (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- Lemke, P., J. Ren, R.B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P.W. Mote, R.H. Thomas et T. Zhang. 2007. « Observations : Changes in snow, ice and frozen ground », chapitre 4 dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor et H. L. Miller (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- Lockwood, M. et C. Frölich. 2007. Recent oppositely-directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature. *Proc. R. Soc. A.*, doi:10.1098/rspa.2007.1880; 2007. 19 pages.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, et coll. 2007. « Global Climate Projections », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon et coll. (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- National Research Council (NRC). 2006. *Surface Temperature Reconstructions for the Last 2,000 Years*, Washington, (D.C.), National Academies Press, 196 p.
- Nichols, R.J., P.P. Wong, V. Burkett, et coll. 2007. « Coastal systems and low-lying areas », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon et coll. (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- Peterson, T.C., K.P. Gallo, J. Livermore, et coll. 1999. « Global rural temperature trends », dans *Geophysical Research Letters*, vol. 26, pp. 329-332.
- Rahmstorf, S., D. Archer, D.S. Ebel, et coll. 2004. « Cosmic Rays, Carbon Dioxide and Climate », dans *Earth and Ocean Sciences Newsletter*, volume 85, n° 4, pp. 38-41.
- Ramaswamy, V., O. Boucher, J. Haigh, D. Hauglustaine, et coll. 2001. « Radiative Forcing of Climate Change », dans *Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C. A. Johnson (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press, 881 p.
- Randall, D.A., R.A. Wood, S. Bony, et coll. 2007. « Climate Models and Their Evaluation », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon et coll. (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- Ressources Naturelles Canada. 2004. Impacts et adaptation liés au changement climatique : perspective canadienne. S. Lemmen and Fiona J. Warren (ed), ISBN : 0-662-33127-0, 201 p.
- Shine, K.P., R.G. Derwent, D.J. Wuebbles et J.J. Morcrette. 1990, « Radiative forcing of climate », chapitre 2 dans *IPCC WGI First Assessment Report*, J.T. Houghton (éd.).
- Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, et coll. 2007. « Observations : Surface and atmospheric climate change », dans *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon et coll. (éd.), Cambridge, (Royaume-Uni), et New York, Cambridge University Press.
- Zhang, Y. 2003. « Methane escape from gas hydrate systems in marine environment, and methane driven oceanic eruptions », dans *Geophysical Research Letters*, vol. 30, n° 1398, doi: 10.1029/2002GL016658.



